

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-047737

(43)Date of publication of application : 12.02.2004

(51)Int.Cl. H01L 21/027  
G01M 11/02  
G02B 5/30  
G03F 1/08

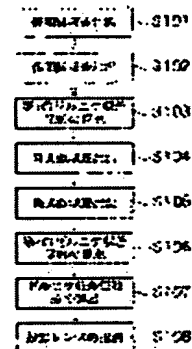
(21)Application number : 2002-203194 (71)Applicant : TOSHIBA CORP  
(22)Date of filing : 11.07.2002 (72)Inventor : FUKUHARA KAZUYA  
TANAKA SATOSHI  
INOUE SOICHI

## (54) INSPECTION METHOD AND PHOTOMASK

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a high-accuracy inspection method of a projection optical system by which the influence of double refraction can be separated from the other causes of deterioration of images.

SOLUTION: Optical characteristics of a projection optical system 9 is searched by transferring an exposure mark of a photomask 33 to a resist applied on a wafer 10 using a polarized first exposure light. Then the optical characteristics of the projection optical system 9 is searched by transferring the exposure mark of the photomask 33 to the resist applied on the wafer 10 using a second exposure light which is different from the first exposure light in the polarization state. The performance inspection of the projection optical system 9 is executed by calculating the difference in the optical characteristics searched using the first and second exposure lights.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.05.2003

[Date of sending the examiner's decision of

rejection]

[Kind of final disposal of application other  
than the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3651676

[Date of registration] 04.03.2005

[Number of appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of requesting appeal against  
examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

The step which imprints the exposure mark of a photo mask to the resist applied on the wafer with the 1st exposure light which polarized, and asks it for the 1st optical property of projection optics,  
The step which imprints the exposure mark of said photo mask to the new resist applied on the wafer with the 2nd exposure light from which said the 1st exposure light and polarization condition differ, and asks it for the 2nd optical property of said projection optics,  
The step which computes the difference of said 1st and 2nd optical properties  
The inspection approach characterized by including \*\*.

[Claim 2]

The inspection approach according to claim 1 that said 1st exposure light is characterized by being the linearly polarized light.

[Claim 3]

The inspection approach according to claim 1 or 2 characterized by said 2nd exposure light being polarization of said 1st exposure light, and polarization which intersects perpendicularly.

[Claim 4]

The inspection approach according to claim 1 or 2 that said 2nd exposure light is characterized by not polarizing.

[Claim 5]

The inspection approach given in any 1 term of claims 1-4 characterized by said exposure light polarizing with the polarizer formed so that it might counter with said exposure mark of said photo mask.

[Claim 6]

The inspection approach given in any 1 term of claims 1-4 characterized by said exposure light polarizing with the polarizer formed on the pellicle.

[Claim 7]

The inspection approach given in any 1 term of claims 1-6 to which said optical property is characterized by being the aberration of the projection lens of said projection optics.

[Claim 8]

The aberration of said projection lens is the inspection approach according to claim 7 characterized by being either among comatic aberration, spherical aberration, astigmatism, and 3theta aberration.

[Claim 9]

The inspection approach according to claim 7 or 8 characterized by performing measurement of said aberration on the Sanko bundle interference conditions.

[Claim 10]

The inspection approach given in any 1 term of claims 7-9 characterized by expressing said aberration with the aberration coefficient of the Zernike polynomials.

[Claim 11]

The transparence substrate which has the 2nd front face which counters the 1st front face and said 1st front face,

The exposure mark arranged on said 1st front face,

The polarizer which countered said exposure mark and has been arranged on said 2nd front face

The photo mask characterized by having \*\*.

[Claim 12]

The 1st polarizer with which said polarizer polarizes exposure light in the 1st polarization condition,  
The 2nd polarizer which polarizes said exposure light in the different polarization condition from  
said 1st polarization condition

\*\* -- since -- the photo mask according to claim 11 characterized by becoming.

[Claim 13]

The photo mask according to claim 12 with which said 1st polarization condition is characterized by  
being the linearly polarized light.

[Claim 14]

The photo mask according to claim 12 or 13 with which said 2nd polarization condition is  
characterized by said the 1st polarization condition and plane of polarization intersecting  
perpendicularly mutually.

[Claim 15]

The photo mask according to claim 12 or 13 with which said 2nd polarization condition is  
characterized by being in the condition of not polarizing.

[Claim 16]

A photo mask given in any 1 term of claims 11-15 characterized by said polarizer consisting of  
Rhine and a tooth-space pattern.

[Claim 17]

The photo mask according to claim 16 with which Rhine of said polarizer and the period of a tooth-  
space pattern are characterized by being below the wavelength of exposure light.

[Claim 18]

A photo mask given in any 1 term of claims 11-17 to which said exposure mark is characterized by  
including the aberration measurement pattern of a projection lens.

[Claim 19]

The 1st transparence substrate which has the 1st front face,

The exposure mark arranged on said 1st front face,

The pellicle which consists of the 2nd transparence substrate which is arranged so that said 1st front  
face may be countered, and has the 2nd front face,

The polarizer which countered said exposure mark and has been arranged on said 2nd front face

The photo mask characterized by having \*\*.

[Claim 20]

The 1st polarizer with which said polarizer polarizes exposure light in the 1st polarization condition,  
The 2nd polarizer which polarizes said exposure light in the different polarization condition from  
said 1st polarization condition

\*\* -- since -- the photo mask according to claim 19 characterized by becoming.

[Claim 21]

The photo mask according to claim 20 with which said 1st polarization condition is characterized by  
being the linearly polarized light.

[Claim 22]

The photo mask according to claim 20 or 21 with which said 2nd polarization condition is  
characterized by said the 1st polarization condition and plane of polarization intersecting  
perpendicularly mutually.

[Claim 23]

The photo mask according to claim 20 or 21 with which said 2nd polarization condition is  
characterized by being in the condition of not polarizing.

[Claim 24]

A photo mask given in any 1 term of claims 19-23 characterized by said polarizer consisting of  
Rhine and a tooth-space pattern.

[Claim 25]

The photo mask according to claim 24 with which Rhine of said polarizer and the period of a tooth-  
space pattern are characterized by being below the wavelength of exposure light.

[Claim 26]

A photo mask given in any 1 term of claims 19-25 to which said exposure mark is characterized by

including the aberration measurement pattern of a projection lens.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

Especially this invention relates to the photo mask used for the performance verification approach of the projection optics of an aligner, and inspection about an optical lithography technique.

[0002]

[Description of the Prior Art]

Making detailed the minimum line width of the pattern which constitutes a semiconductor device, and the minimum period every year, the minimum solution image line width of face required of the aligner which resolves this pattern is becoming about 100nm or less of current. The minimum solution image period of an aligner is decided by numerical aperture (NA) of the exposure wavelength  $\lambda$  and a projection lens. What is necessary is to short-wavelength-ize exposure wavelength  $\lambda$ , in order to form a more detailed pattern, and just to expand NA. Short wavelength-ization of exposure light is advanced for this purpose. recent years -- an argon flora -- the id (ArF) -- a excimer laser aligner ( $\lambda = 193\text{nm}$ ) is put in practical use, and development is performed for the fluorine gas (F2) excimer laser aligner ( $\lambda = 157\text{nm}$ ) for the purpose of utilization several years after. Although the class is restricted and the optical material which can be used as a lens for optical lithographies on the wavelength of 193nm or less can use fluorite (calcium-fluoride single crystal) and a fused quartz for light with a wavelength of 193nm with the present technique, it can use only fluorite to light with a wavelength of 157nm.

[0003]

When using a lens, a birefringence is in one of the phenomena which pose a problem. Since a refractive index is physical quantity which governs an optical refraction angle and phase velocity, when a projection lens shows a birefringence, the image formation property of a projection lens changes with the polarization conditions of light. When a birefringence occurs, by connecting an image to a location different, for example for every polarization condition of exposure light, an image fades, image contrast and resolution decline and there is a possibility that a detailed pattern cannot be formed.

[0004]

It became clear from the latest research that fluorite had a comparatively big birefringence in a specific crystal orientation. That is, a birefringence is shown about the optical path which meets the crystallographic axis in which the birefringence of fluorite is not shown in the direction which is not parallel to an optical axis even if it manufactures a lens for the direction of an optical axis.

Consequently, if the pattern which should be imprinted is detailed, many diffracted lights will occur a certain forge fire in the direction which is not parallel to an optical axis, and it will become easy to be influenced of a birefringence. In order to control the effect of a birefringence as the whole lens, the effect of a birefringence is offset to some extent, or effect can be prevented from concentrating it on a specific optical path by changing each crystal orientation mutually and arranging the lens of two or more fluorite. However, with a current technique, it is difficult to control the effect of a birefringence completely even in such a case.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

The birefringence of the lens material used for the projection optics of an aligner must be controlled in order to degrade the image formation engine performance, but even if it sees only the degradation condition of image formation, it is not recognized whether it has occurred for a birefringence. The method of carving with other image degradation factors and inspecting whether it is necessary to use the small lens of a birefringence for projection optics for detailed-izing of a semiconductor device, and the birefringence is controlled as much as possible is required.

[0006]

This invention is offering the inspection approach of projection optics of solving such a technical problem, carving the effect of a birefringence with other image degradation factors, and inspecting it.

[0007]

Other purposes of this invention are offering the photo mask used for the inspection approach of projection optics.

[0008]

[Means for Solving the Problem]

In order to solve the above-mentioned technical problem, the 1st description of this invention The step which imprints the exposure mark of a photo mask to the resist applied on the wafer with the 1st exposure light which (b)-polarized, and asks it for the 1st optical property of projection optics, The step which imprints the exposure mark of a photo mask to the new resist applied on the wafer with the 2nd exposure light from which the exposure light and the polarization condition of (b) 1st differ, and asks it for the 2nd optical property of projection optics, (Ha) Let it be a summary to be the inspection approach containing the step which computes the difference of the 1st and 2nd optical properties.

[0009]

According to the 1st description of this invention, the inspection approach of projection optics of inspecting the effect of a birefringence can be offered.

[0010]

In the 1st description of this invention, it is desirable that the 1st exposure light is the linearly polarized light. Moreover, it is desirable that the 2nd exposure light is polarization of the 1st exposure light and polarization which intersects perpendicularly. Moreover, the 2nd exposure light could polarize. Moreover, exposure light polarizes with the polarizer formed so that it might counter with the exposure pattern of a photo mask. Thus, an optical property is measured by the exposure light from which a polarization condition differs, and performance verification of projection optics is conducted. Moreover, exposure light may polarize with the polarizer formed on the pellicle. The polarization condition of exposure light is for not changing, even if it penetrates a photo mask. Moreover, it is desirable that an optical property is the aberration of the projection lens of projection optics. As for the aberration of a projection lens, at least one of comatic aberration, spherical aberration, astigmatism, and 3theta aberration is used. It is desirable that aberration is expressed with the aberration coefficient of the Zernike polynomials. Furthermore, it is desirable that measurement of aberration is performed on the Sanko bundle interference conditions.

[0011]

the 2nd description of this invention -- (\*\*) -- the transparence substrate which has the 2nd front face which counters the 1st front face and 1st front face, and (\*\*) -- let it be a summary to be a photo mask equipped with the exposure mark arranged on the 1st front face, and the polarizer which countered the exposure mark and has been arranged on the 2nd (Ha) front face.

[0012]

According to the 2nd description of this invention, the photo mask which inspects the effect of the birefringence of projection optics can be offered.

[0013]

the 3rd description of this invention -- (\*\*) -- the 1st transparence substrate which has the 1st front face, and (\*\*) -- it is arranged so that the 1st (Ha) front face may be countered with the exposure mark arranged on the 1st front face, and let it be a summary to be a photo mask equipped with the pellicle which consists of the 2nd transparence substrate which has the 2nd front face, and the polarizer which countered the exposure mark and has been arranged on the 2nd front face of (d).

[0014]

According to the 3rd description of this invention, the photo mask which inspects the effect of the birefringence of projection optics can be offered.

[0015]

In the 2nd and 3rd descriptions of this invention, it is desirable that a polarizer consists of the 1st polarizer which polarizes exposure light in the 1st polarization condition, and the 2nd polarizer which polarizes exposure light in the different polarization condition from the 1st polarization condition. Moreover, it is desirable that the 1st polarization condition is the linearly polarized light. Moreover, it is desirable that the 1st polarization condition and plane of polarization intersect [ the 2nd polarization condition ] perpendicularly mutually. Moreover, the 2nd polarization condition may be in the condition of not polarizing. Moreover, it is desirable that it is the wire grid mold polarizer with which a polarizer consists of Rhine and a tooth-space pattern. If Rhine of a wire grid mold polarizer and the period of a tooth-space pattern are below the wavelength of exposure light, they can carry out the linearly polarized light of the light. Moreover, it is desirable that an exposure mark contains the aberration measurement pattern of a projection lens.

[0016]

[Embodiment of the Invention]

With reference to a drawing, the gestalt of operation of this invention is explained below. In the publication of the following drawings, the same or similar sign is given to the same or similar part. However, a drawing is typical and it should care about that the ratio of the relation between thickness and a flat-surface dimension and the thickness of each class etc. differs from an actual thing. Therefore, concrete thickness and a concrete dimension should be judged in consideration of the following explanation. Moreover, of course, the part from which the relation and the ratio of a mutual dimension differ also in between drawings is contained.

[0017]

The aligner 1 used for explanation of the performance verification approach of the projection optics of the gestalt operation of this invention is an aligner (scanner) of a refraction mold as shown in drawing 2, and the contraction ratio is setting it to 4:1. as the light source 2 -- an argon flora with a wavelength of  $\lambda$ :193nm -- the id (ArF) -- excimer laser is used. A fly eye lens, a condensing lens, etc. are contained in the illumination-light study system 3. Projection optics 9 is constituted by the projection lens 5 and the pupil 6 grade. Exposure light carries out contraction projection of the pattern of the photo mask 33 installed on the mask stage 4 between the illumination-light study system 3 and projection optics 9 at the wafer 10 on the wafer stage 7. A pellicle 8 is installed in order to prevent that dust adheres on a photo mask 33, and it consists of a transparence substrate of the same ingredient as a photo mask 33. In addition, as the expedient top of explanation, and an aligner 1, although the scanner is shown, a stepper etc. is [ other than a scanner ] usable. Moreover, although the contraction ratio is set to 4:1, of course, the contraction ratio of arbitration is sufficient.

[0018]

As shown in drawing 3 (a), the photo mask 33 concerning the gestalt of operation of this invention places upside down the 1st front face 15 protected by the pellicle 8, and is installed in the mask stage 5 of an aligner 1. As shown on the 1st front face 15 of a photo mask 33 at drawing 3 (b), the aberration measurement units 36a-36i which measure even function aberration, such as odd function aberration, such as various kinds of lens distortion of projection optics 9, for example, comatic aberration, 3theta aberration, etc., and spherical aberration, and astigmatism, and 37a-37i are arranged to the 1st aberration measurement unit field 34 and the 2nd aberration measurement unit field 35, respectively. On the 2nd front face 16 of a photo mask 33, as shown in drawing 3 (c), two kinds of wire grid mold polarizers are arranged. The periodic direction of the wire grid pattern of the 1st polarizer 31 which countered the 1st aberration measurement unit field 34, and has been arranged, and the 2nd polarizer 32 which countered the 2nd aberration measurement unit field 35, and has been arranged lies at right angles mutually. For example, the periodic direction of the wire grid pattern of the 1st polarizer 31 is parallel to the side of the longitudinal direction of the photo mask 33 shown in drawing 3 (c), and the periodic direction of the wire grid pattern of the 2nd polarizer 32 is a direction which intersects perpendicularly with the periodic direction of the wire grid pattern of the 1st polarizer 31.



[0019]

The wire grid mold polarizer 11 arranged on the 2nd front face 16 of the photo mask 33 concerning the gestalt of operation of this invention is Rhine and the tooth-space (last shipment) pattern which have periodicity in the predetermined direction, as shown in the top view of drawing 4 (a). As the cross-section structure of the periodic direction of the last shipment pattern of the wire grid mold polarizer 11 is shown in drawing 4 (b), the protection-from-light sections 13a-13c which consist of metal membranes, such as chromium (Cr), on the transparence substrate 12 which consists of a transparence quartz are arranged fixed protection-from-light \*\*\*\* of w:20nm, and the fixed period of P:100nm. The wire grid mold polarizer 11 has the function to pass only the linearly polarized light light which has the plane of vibration of electric field in the direction of periodic P of a last shipment pattern among the light which carried out incidence.

[0020]

The photo mask 33 concerning the gestalt of operation of this invention turns the 2nd front face 16 to the incidence side of exposure light, and is installed in the mask stage 4 of an aligner 1. Here, each magnitude of the 1st or 2nd aberration measurement unit field 34 and 35 is designed so that it may be in agreement with the one-shot exposure field in quiescence exposure of an aligner 1. It carries out incidence to the 1st or 2nd aberration measurement unit field 34 and 35, exposure light which carries out incidence to a photo mask 33 being used as the linearly polarized light light and plane of polarization cross at right angles mutually with the 1st or 2nd polarizer 31 and 32 first. Since the pattern exposed using two linearly polarized light light performs aberration measurement, the size of the birefringence of the projection lens 5 of projection optics 9 can be judged. In addition, although the 2nd front face 16 which has the 1st and 2nd polarizers 31 and 32 was turned to the incidence side of exposure light with the gestalt of operation of this invention, you may install towards the outgoing radiation side of exposure light conversely. In case the aberration measurement units 36a-36i of a photo mask 33, and 37a-37i are passed, it is because the polarization condition of exposure light does not change but only each linearly polarized light component is alternatively taken out with the 1st and 2nd polarizers 31 and 32.

[0021]

The formation approach of the wire grid mold polarizer 11 is the same as the manufacture approach of the photo mask used for semiconductor device manufacture. First, as shown in drawing 5 (a), a shading film 23 is formed of vacuum evaporatio of metals, such as chromium, etc. on the almost transparent transparence substrate 12 to exposure light. Subsequently, a resist is applied to shading film 23 front face, a wire grid pattern is drawn with electron-beam-lithography equipment, and of a development process, as shown in drawing 5 (b), a resist pattern 14 is formed on a shading film 23. Then, as selective etching of the shading film 23 is carried out by the reactive-ion-etching (RIE) process etc. and it is shown in drawing 5 (c), the protection-from-light sections 13a-13c are formed on the transparence substrate 12, and the wire grid mold polarizer 11 is produced. Moreover, basic structure is Rhine and a tooth-space (last shipment) pattern with the predetermined period P, and the mark for aberration measurement used for measurement of the aberration concerning the gestalt of operation of this invention as well as the formation approach of the wire grid mold polarizer 11 shown in drawing 5 is produced so that it may mention later.

[0022]

As for the photo mask concerning the gestalt of operation of this invention, the aberration measurement units 36a-36i including the mark for aberration measurement to which various kinds of aberration of projection optics 9 is measured, and 37a-37i are formed on the 1st front face 15 to the 1st and 2nd aberration measurement unit fields 34 and 35. Further It is formed and produced so that the 1st and 2nd polarizers 31 and 32 of the wire grid mold which has the pattern which intersects perpendicularly mutually on the 2nd front face 16 may counter.

[0023]

The mark for aberration measurement of a lens which these first-in-a-roll artificers showed for example, in the patent No. 3256678 official report is used for measurement of the aberration concerning the gestalt of operation of this invention. Rhine and a tooth-space (last shipment) pattern with the predetermined period P are contained in the mark for aberration measurement. The line breadth / periodic ratio of all last shipment patterns are 0.5. The period P is filling the following

relation between the coherence factor sigma of an aligner, the exposure wavelength lambda, and the projection lens numerical aperture NA.

[0024]

$3 \text{ and } \lambda / (NA - (1 + \sigma)) \geq P \geq \lambda / (NA - (1 - \sigma))$  (1)

(1) The images of a last shipment pattern are the conditions formed of interference of the zero-order diffracted light and the primary [ \*\* ] diffracted light, and the conditions of a formula are called "3 Flux of light interference conditions." That is, the primary diffracted light does not separate from the pupil 6 of projection optics 9, but the conditions on which the 3rd high order more than diffracted light does not pass the 6th page of a pupil are meant. Moreover, since the line breadth / periodic ratio of a last shipment pattern are set to 0.5, the secondary diffracted light is not generated. In the aberration measurement under 3 flux-of-light interference conditions, the sum and the difference of the wave-front error in the path of the +primary diffracted light and the wave-front error in the path of the -primary diffracted light are measured.

[0025]

As shown in drawing 6 (a), the basic structure of the mark for aberration measurement for measuring odd function aberration, such as comatic aberration and 3theta aberration, clips all with the exposure mark 43 of a pair which are two or more square patterns, and consists of an exposure mark 44. As the exposure mark 43 surrounds the last shipment seating-rim pattern 41 of a last shipment pattern with a uniform detailed period, and the last shipment seating-rim pattern 41, it has the outer frame pattern 42 of Rhine whose width of face is 2 micrometers on a photo mask. As for the detailed last shipment pattern of the last shipment seating-rim pattern 41, the period P fulfills the conditions of (1) type. The clipping exposure mark 44 has the seating-rim clipping pattern 46 and the outer frame clipping pattern 45. It clips with the exposure mark 43, and it is 50 micrometers, and the distance of the center to center of the exposure mark 44 is arranged, without overlapping mutually. It is designed so that the seating-rim clipping pattern 46 may lap with some last shipment seating-rim patterns 41 and the outer frame clipping pattern 45 may all cover the outer frame pattern 42, when 50 micrometers of exposure marks 44 are shifted on a photo mask to the longitudinal direction of drawing 6 (a) by clipping with the exposure mark 43 and the core of each square is doubled.

[0026]

In measurement of odd function aberration, as shown in drawing 7, it clips with the exposure mark 43 of the basic structure shown in drawing 6 (a). Like the exposure mark 44 The 1st rotation exposure mark 122 and the 1st rotation clipping mark 125 for which clipped with the exposure mark 121 and the exposure mark 124 rotated the pair in nothing and the direction of a clockwise rotation 30 degrees a pair Nothing, Furthermore, the 2nd rotation exposure mark 123 and the 2nd rotation clipping mark 126 which made it rotate in the direction of a clockwise rotation 60 degrees are making the pair. last shipment seating-rim pattern 121a, outer frame pattern 121b, and seating-rim clipping pattern 124a and outer frame clipping pattern 124b are arranged at the exposure mark 121 and the clipping exposure mark 124. Similarly, the last shipment seating-rim patterns 122a and 123a and the outer frame patterns 122b and 123b are arranged at the 1st and 2nd rotation exposure marks 122 and 123, and the seating-rim clipping patterns 125a and 126a and the outer frame clipping patterns 125b and 126b are arranged at the 1st and 2nd rotation clipping exposure marks 125 and 126. Moreover, as shown in drawing 8, the 1st exposure mark 61, the 1st clipping exposure mark 64 and the 2nd exposure mark 62, the 2nd clipping exposure mark 65 and the 3rd exposure mark 63, and the 3rd clipping exposure mark 66 are used for measurement of odd function aberration by the pair, respectively. here -- the 1- the outer frame patterns 61b-63b of the 3rd exposure mark 61-63 -- the pattern of the same dimension -- it is -- the 1- the 3rd clipping exposure mark 64-66 is the same pattern. The last shipment seating-rim patterns 61a-63a consist of a last shipment pattern with which periods P differ within limits which fulfill the Sanko bundle interference conditions of (1) type. Furthermore, not only the 1st [ which was shown in drawing 7 ] and 2nd rotation exposure marks 122 and 123 but the pair of the rotation exposure mark which has arranged the last shipment seating-rim pattern to which the period P of a last shipment pattern was changed within limits which fulfill the Sanko bundle interference conditions of (1) type is arranged.

[0027]

The exposure mark for measuring even function aberration, such as spherical aberration and

astigmatism, is a detailed last shipment pattern with which a period P fills the Sanko bundle interference conditions of (1) type as shown in drawing 6 (b), and four kinds, the vertical last shipment mark 47, the horizontal last shipment mark 48, the 1st slanting last shipment mark 49, and the 2nd slanting last shipment mark 50, become a set. If based on the sense of the period P of the last shipment pattern of the vertical last shipment mark 47, the horizontal last shipment mark 48 will serve as sense 135 degrees and whose 2nd slanting last shipment mark 50 90 degrees and the 1st slanting last shipment mark 49 are 45 degrees, respectively. Moreover, two or more arrangement of the exposure mark for even function aberration measurement which consists of a last shipment pattern with which periods P differ like the case of odd function aberration within limits which fulfill the Sanko bundle interference conditions of (1) type is carried out.

[0028]

Thus, two or more odd functions from which a period and the sense differ, respectively in the 1st and 2nd aberration measurement units 36a-36i, and 37a-37i, and the exposure mark for even function aberration measurement are arranged mutually in near. The array of each exposure mark arranged at the 1st and 2nd aberration measurement units 36a-36i, and 37a-37i is made the same.

[0029]

Next, the aberration measurement concerning the gestalt of operation of this invention is explained. The field of the quiescence exposure by the aligner 1 is the 1st or 2nd aberration measurement unit field 34 and 35 shown in drawing 3 (b). The pattern of the exposure mark of the aberration measurement units 36a-36i is imprinted on a wafer 10 by the exposure light by which followed, for example, the linearly polarized light was first carried out with the 1st polarizer 31 in the 1st aberration measurement unit field 34 on a photo mask 33. Then, the pattern of the exposure mark of the aberration measurement units 37a-37i is imprinted on a wafer 10 by the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 2nd polarizer 32 in the 2nd aberration measurement unit field 35 on a photo mask 33. At this time, it is made mostly in agreement [ the relative position of each exposure mark in each relative position of an exposure mark and 2nd / to the projection lens 5 / aberration measurement unit field 35 in the 1st / to the projection lens 5 / aberration measurement unit field 34 ]. That is, two aberration measurement is carried out about the almost same image position. Moreover, since the exposure approach of an odd function and even function aberration measurement is carrying out difference, aberration measurement is carried out separately, respectively.

[0030]

measurement of odd function aberration -- the 1st and 2nd aberration measurement unit fields 34 and 35 -- it is alike, respectively, and it receives and double exposure is performed. the case where odd function aberration measurement is performed using the exposure marks 61-66 of drawing 8 -- for example, -- first -- the 1st exposure -- carrying out -- next, the wafer stage 7 -- the 1- the 3rd exposure mark 61-63 and the 1- 12.5-micrometer (it is 50 micrometers on photo mask 33) migration is carried out, and 2nd exposure is performed in the direction with which the 3rd clipping exposure mark 64-66 laps. this double exposure -- the 1- the 3rd last shipment seating-rim patterns 61a-63a and outer frame patterns 61b-63b of the exposure marks 61-63 -- the 1- the 1st - the 3rd resist pattern 67-69 should pass a development process to imprint on a wafer 10 by pattern by which the part with which the 3rd clipping exposure mark 64-66 laps is cut off, and to be shown in drawing 9 -- it is formed. The last shipment seating-rim resist patterns 67a-69a of the 1st - the 3rd resist pattern 67-69 turn into a last shipment pattern of the width of face of the seating-rim clipping patterns 64a-66a, and the outer frame resist patterns 67b-69b turn into a pattern with a width of face of 0.5 micrometers. Similarly, as the exposure mark 121, 1st, and 2nd rotation exposure marks 122 and 123 shown in drawing 7 are cut off by the clipping exposure mark 124, 1st, and 2nd rotation clipping exposure marks 125 and 126 and it is shown in drawing 10 , the last shipment seating-rim resist patterna [ 131 ]-133a and resist pattern [ which consists of outer frame resist patterns 131b-133b ] 131, 1st, and 2nd rotation resist patterns 132 and 133 are formed. The last shipment seating-rim resist patterns 67a-69a as shown in drawing 9 and drawing 10 , 131a-133a and the outer frame resist patterns 67b-69b, and the relative amount of imprint location gaps of 131b-133b are measured using doubling gap test equipment.

[0031]

Next, the relation between the relative amount of imprint location gaps obtained by odd function aberration measurement and the amount of odd function aberration is explained. It has the periodicity of a period  $P$  in the  $x$  directions, and the condition of carrying out image formation of the last shipment pattern which fulfills the Sanko bundle interference conditions of (1) type by the coherent illumination near  $\sigma=0$  is considered. Incidence is carried out to a pupil surface 70 so that incidence and the primary [ \*\* ] diffracted light may make plane of incidence a  $x$ - $z$  flat surface at right angles to a substrate side as for the zero-order diffracted light when the exposure light from the light source 2 carries out incidence to a mask pattern 21 and it diffracts, as shown in drawing 11 (a), and it may be an include angle  $\theta$  to the zero-order diffracted light and the zero-order diffracted light may be inserted, and image formation of the mask pattern image 22 is carried out on a wafer. Here, let the zero of system of coordinates be the ideal image point when the maximum of an interference wave appears in the case of an aplanatic lens. Moreover, the amplitude of  $A$  and \*\*primary diffracted light is set [ the electric vector of each diffracted light which makes the travelling direction of light the direction of forward  $z$  /  $E_0$   $E_1$ ,  $E_{-1}$ , and exposure wavelength ] to  $B$  for the amplitude of  $\lambda$  and the zero-order diffracted light. Moreover, the phase error of the primary [ \*\* ] diffracted light is set to  $\phi_1$  and  $\phi_{-1}$  on the basis of the phase of the zero-order diffracted light, respectively. Generally, the electric vector of the light which excluded the time-dependent part is expressed with a degree type.

[0032]

$$E = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot x) \quad (2)$$

Here,  $i$  of an imaginary unit and  $k$  is [ a wave number vector and  $x$  ] position vectors. Therefore, the electric vector of each diffracted light is expressed with a degree type.

[0033]

[Equation 1]

$$E_0(x, y, z) = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot z) \quad (3)$$

$$E_1(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (-k \cdot x \cdot \sin\theta + k \cdot z \cdot \cos\theta + \phi_1)\} \quad (4)$$

$$E_{-1}(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (k \cdot x \cdot \sin\theta + k \cdot z \cdot \cos\theta + \phi_{-1})\} \quad (5)$$

The interference wave  $I$  formed on a wafer

$$I = |E_0 + E_1 + E_{-1}|^2 \quad (6)$$

It comes out. (6) If a formula is developed,

[Equation 2]

$$I = A^2 + B^2 + 2AB \cdot \cos(S \cdot k \cdot x \cdot \phi_{\text{odd}}) \cdot \cos(C \cdot k \cdot z \cdot \phi_{\text{even}}) + 2B^2 \cdot \cos\{2 \cdot (S \cdot k \cdot x \cdot \phi_{\text{odd}})\} \quad (7)$$

Here, since it was easy, replacement of  $S = \sin\theta$ ,  $C = 1 - \cos\theta$ ,  $\phi_{\text{even}} = (\phi_1 + \phi_{-1})/2$ , and  $\phi_{\text{odd}} = (\phi_1 - \phi_{-1})/2$  was used.  $\phi_{\text{even}}$  is an even function aberration component and  $\phi_{\text{odd}}$  is an odd function aberration component. if  $z$  is fixed and behavior of a  $x$ - $y$  flat surface is considered -- the maximum location of the interference wave near a zero --  $S \cdot k \cdot x \cdot \phi_{\text{odd}} = 0$  Namely

$$x = \phi_{\text{odd}} / (S \cdot k) \quad (8)$$

It is alike and it turns out that it exists.

[0034]

The incident angle  $\theta$  of the primary [ \*\* ] diffracted light is between the last shipment pattern period  $P$  and the exposure wavelength  $\lambda$ ,

$$\sin\theta = \lambda / P \quad (9)$$

If it takes into consideration that there is relation to say, it is the relative amount  $\Delta x$  of imprint location gaps of a last shipment pattern,

$$\Delta x = P \cdot \phi_{\text{odd}} / (2\pi) \quad (10)$$

It is expressed.

[0035]

On the other hand, the outer frame pattern 42 shown in drawing 6 (a) is sufficiently big pattern width of face to the exposure wavelength  $\lambda$ , and the exposure light which passes a projection lens passes through the center of a pupil surface 70. Usually, since the center of a projection lens is often adjusted, in the center of a pupil surface 70, you may think that wave aberration is 0. Therefore, the location of the outer frame pattern 42 cannot change, when the most, but it can be made into a location reference mark. That is, odd function aberration  $\phi_{\text{odd}}$  is drawn by the degree type from

the relative amount  $\Delta x$  of imprint location gaps measured using doubling gap test equipment.

[0036]

$\phi_{\text{odd}} = 2$  and  $\pi \cdot \Delta x / P$  (11)

Aberration is expressed with the dimension of a phase here. With the notation which makes exposure wavelength  $\lambda$  a unit

$\phi_{\text{odd}} = \Delta x / P$  (12)

It becomes. This  $\phi_{\text{odd}}(R, \theta)$  expresses the odd function component of the wave aberration in the coordinate in the pupil surface 70 of the pupil 6 of projection optics 9 ( $R, \theta$ ). A pupil surface 70 is specified as an unit circle which sets a radius to 1, and the radius vector  $R$  of a pupil surface 70 is  $0 \leq R \leq 1$ . When the last shipment pattern of a period  $P$  is exposed, the zero-order diffracted light passes through the location where the center of a pupil surface 70 and the primary [ \*\* ] diffracted light separated only  $\lambda / (P \cdot \text{NA})$  from pupil surface 70 center in the periodic direction of a last shipment pattern. It passes along the inside location where the distance from pupil surface 70 core of a diffracted-light passage location separated from the core of pupil surface 70a  $R_1$  as a period  $P$  showed drawing 11 (b) in inverse proportion to the period  $P$  of a last shipment pattern, when large, and when small, a period  $P$  passes along the location of the outside distant from the core in pupil surface 70b  $R_2$ , as shown in drawing 11 (c). In other words, the odd function aberration component in ( $R, \theta$ ) on the pupil surface 70 specified by the unit circle is  $\phi_{\text{odd}}$ , and the odd function aberration component in ( $R, \theta + 180$  degrees) is  $-\phi_{\text{odd}}$ . namely

$\phi_{\text{odd}}(R, \theta) = \Delta x / P$  (13)

$\phi_{\text{odd}}(R, \theta + 180) = -\Delta x / P$  (14)

It becomes. In addition, a radius vector  $R$  has the following relation between  $\lambda$ ,  $P$ , and  $\text{NA}$ .

[0037]

$R = \lambda / (P \cdot \text{NA})$  (15)

If the above is taken into consideration, odd function aberration component  $\phi_{\text{odd}}(R, \theta)$  in the location where it differs on a pupil surface 70 will be calculated by measurement of the pattern for aberration measurement formed from the exposure mark from which a period  $P$  and angle of rotation differ. For example, measurement to  $\phi_{\text{odd}}(\lambda / (P_0, \text{NA}), 30$  degrees) and  $\phi_{\text{odd}}(\lambda / (P_0, \text{NA}), -150$  degrees) of the pattern for aberration measurement with which the period was formed from the exposure mark which rotated 30 degrees by  $P_0 = -\phi_{\text{odd}}(\lambda / (P_0, \text{NA}), 30$  degrees) is calculated.

[0038]

Next, the Zernike aberration coefficient of odd function aberration is computed from calculated  $\phi_{\text{odd}}$ . Odd function aberration will be divided into 1 $\theta$  component, 3 $\theta$  components, and 5 $\theta$  components by the next matrix count indicated by 525 pages -534 pages in an optical review (OPTICAL REVIEW), the 7th volume, and (2000).

[0039]

[Equation 3]

$$\begin{pmatrix} \phi_{\cos \theta}(R) \\ \phi_{\sin \theta}(R) \\ \phi_{\cos 3\theta}(R) \\ \phi_{\sin 3\theta}(R) \\ \phi_{\cos 5\theta}(R) \\ \phi_{\sin 5\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -\sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & -\sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{\text{odd}}(R, 0^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 30^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 60^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 90^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 120^\circ) \\ \phi_{\text{odd}}(R, 150^\circ) \end{pmatrix} \quad (16)$$

Next, a radial function is fitted in 1 $\theta$  component of odd function aberration, and 3 $\theta$  components, and it asks for a multiplier.

[0040]

[Equation 4]

$\phi_{\text{icostheta}}(R) = a_2, Z_2(R) + a_7$  and  $Z_7(R) + a_{14}$ , and  $Z_{14}(R) + \dots$  (17)

$\text{phisintheta}(R) = a_3, Z_3(R)+a_8 \text{ and } Z_8(R)+a_{15}, \text{ and } Z_{15}(R) + \dots (18)$

$\text{phicos3theta}(R) = a_{10} \text{ and } Z_{10}(R)+a_{19}, \text{ and } Z_{19}(R) + \dots (19)$

$\text{phisin3theta}(R) = a_{11} \text{ and } Z_{11}(R)+a_{20}, \text{ and } Z_{20}(R) + \dots (20)$

an (n is an integer) is the Zernike aberration coefficient of the n-th term, and  $Z_n(R)$  is the radius vector R dependence part of the Zernike polynomials of the n-th term here. Thus, comatic aberration  $a_7$  and  $a_8$ , the 3theta aberration  $a_{10}$  and  $a_{11}$ , and those high order components  $a_{14}$ ,  $a_{15}$ ,  $a_{19}$ , and  $a_{20}$  are called for.

[0041]

Next, measurement of even function aberration is explained. It exposes on the wafer 10 which applied the resist, changing a focal location and an imprint location gradually fixing light exposure for four sorts of last shipment marks 47-50 shown in drawing 6 (b). Thus, the last shipment resist pattern which the focal condition was changed and imprinted it is measured using a scanning electron microscope (SEM) etc. The Rhine width of face of each last shipment resist pattern has the maximal value according to change of a focal condition. The focal condition that the Rhine width of face serves as the maximal value is in the condition that the contrast of the interference wave formed in 3 flux-of-light interference serves as the maximum, namely, is a best focus. A best focus is determined for each [ a period differs from the sense ] pattern of every. Specifically, the location which takes the maximal value of the Rhine width method of a last shipment resist pattern or the minimal value of tooth-space width of face turns into a location of a best focus for each [ which was set up with a focal location, i.e., an aligner, ] defocusing distance of every. For example, as shown in drawing 12 , a pattern is imprinted in the range whose defocusing distance is -0.2-0.4 micrometers, and the best focus of the vertical last shipment resist patterns 111a-111g is 0.1 micrometers in location. the same -- the horizontal last shipment resist patterns 112a-112g, the 1st slanting last shipment resist pattern 113a-113g and the 2nd slanting last shipment resist pattern 114a-114g, and each best focus -- 0 and -0. -- it is in the location of the defocusing distance of 1 and 0. Although the location which takes the maximal value of the Rhine width method or the minimal value of tooth-space width of face was made into the best focus in the above-mentioned example, when light exposure is small, it is good also considering the location which takes the minimal value of the Rhine width method, or the maximal value of tooth-space width of face as a best focus. In addition, as a location of 0, with the outer frame pattern 42 of the exposure mark 43 shown in drawing 6 (a), defocusing distance asks for the average best focus location between different patterns beforehand, and is set as the criteria location of defocusing of the location, for example. Therefore, the defocusing distance of drawing 12 expresses the criteria location of defocusing in the aligner 1 which uses the condition of 0.0, and the focal location in the case of non-aberration is not necessarily expressed.

[0042]

Next, a gap of a best focus and the relation of the amount of even function aberration are explained. In the formula (7) of the interference wave formed on a wafer of 3 flux-of-light interference, the case where a wafer 10 shifts to the travelling direction (the direction of z) of light is considered. Since the 2nd term of the right-hand side of (7) types which determine contrast has z dependency, the conditions used as a best focus are expressed with the following formula.

[0043]

$C-k-Z - \text{phieven} = 0 (21)$

That is, amount of gaps  $\Delta z$  from the case of the non-aberration of a best focus is proportional to even function aberration component  $\text{phieven}$ . Specifically, the incident angle  $\theta$  of the primary [ \*\* ] diffracted light can express as follows in consideration of there being relation of (9) types between the last shipment period P and the exposure wavelength  $\lambda$ .

[0044]

$\text{phieven} = C-k-\Delta z = 2, \pi-kappa(\lambda, P), \text{ and } \Delta z/\lambda (22)$

here --  $kappa(\lambda, P) = 1-(1-\lambda^2/P^2)^{1/2}$  it is . (22) Aberration is expressed by the formula by the dimension of a phase. With the notation which makes wavelength a unit

$\text{phieven} = kappa(\lambda, P) -\Delta z/\lambda (23)$

It becomes.

[0045]

phieven (R, theta) expresses the even function component of the wave aberration in the coordinate in a pupil surface of the projection lens 5 (R, theta). In other words, the even function aberration component which can be set is phieven on (R, theta) (R, theta+180 degrees) the pupil surface 70 specified by the unit circle. namely

[Equation 5]

$$\text{phieven}(R, \theta) = \text{phieven}(R, \theta + 180 \text{ degrees}) = \kappa(\lambda, P) - \Delta z / \lambda \quad (24)$$

If the above is taken into consideration, even function aberration component phieven (R, theta) in the location where it differs on a pupil surface 70 will be calculated by measurement of the last shipment resist pattern formed from the exposure mark from which a period P and an include angle differ.

From measurement of the last shipment resist pattern with which the period was formed from the mark which rotated 45 degrees by P0,

[Equation 6]

$$\text{phieven}(\lambda / (P_0, NA), 45 \text{ degrees}) = \text{phieven}(\lambda / (P_0, NA), -135 \text{ degrees}) \quad (25)$$

\*\*\*\* \*

[0046]

Next, the Zernike aberration coefficient of even function aberration is computed from amount of gaps  $\Delta z$  of a best focus. Even function aberration is divided into 0theta component phisym (R) and 2theta component phicos2theta (R), phisin2theta (R), etc. by the next matrix count indicated by the above-mentioned optical review.

[0047]

[Equation 7]

$$\begin{pmatrix} \phi_{\text{sym}}(R) \\ \phi_{\cos 2\theta}(R) \\ \phi_{\sin 2\theta}(R) \\ \phi_{\cos 4\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{\text{even}}(R, 0^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 45^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 90^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 135^\circ) \end{pmatrix} \quad (26)$$

Next, a radial function is fitted in 0theta component phisym (R) and 2theta component phicos2theta (R) and phisin2theta (R), and it asks for a multiplier.

[0048]

[Equation 8]

$$\text{phisym}(R) = a_4 \text{ and } Z_{-16} \text{ and } 4(R) + a_9 \text{ and } Z_9(R) + Z_{16}(R) + \dots \quad (27)$$

$$\text{phicos2theta}(R) = a_{12} \text{ and } = a_5 \text{ and } Z_5(R) + Z_{12}(R) + \dots \quad (28)$$

$$\text{phisin2theta}(R) = a_{13} \text{ and } = a_6 \text{ and } Z_6(R) + Z_{13}(R) + \dots \quad (29)$$

Thus, spherical aberration  $a_9$ , astigmatism  $a_5$  and  $a_6$ , and those high order components  $a_{16}$ ,  $a_{12}$ , and  $a_{13}$  are called for. In addition, in the argument to (21) - (25) type, although the amount of gaps of the best focus to the case of an aplanatic lens is set to  $\Delta z$ , in actual measurement, the best focus in the case of the lens of non-aberration is unknown. then -- drawing 12 -- an example -- taking -- having explained -- as -- being suitable -- defocusing -- a location -- defocusing -- criteria -- a location -- \*\* -- carrying out -- it -- receiving -- the best -- a focus -- a gap -- an amount --  $\Delta z$  -- ' --  $\Delta z$  -- instead of -- using it -- \*\*\*\*\* . Although the multiplier  $a_4$  showing defocusing will change if (26) and (27) types are calculated using amount of gaps  $\Delta z'$  of a best focus, other multipliers  $a_5$  and  $a_6$  and  $a_9$  grade showing even function aberration do not change. Therefore, even if it uses amount of gaps  $\Delta z'$  of a best focus, measurement of even function aberration is possible.

[0049]

The performance verification approach of the projection lens concerning the gestalt of operation of this invention is explained according to drawing 1 .

[0050]

(b) It is first equipped with the wafer 10 which applied a photo mask 33 and the 1st resist on the wafer stage 7 of an aligner 1. Double exposure is performed using the exposure mark for odd function aberration measurement which is step S101, for example, was shown by the 1st drawing 6

(a), drawing 7 , and drawing 8 of the aberration measurement unit field 34, and each last shipment pattern is imprinted by the 1st resist on a wafer 10 with the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 1st polarizer 31. The amount  $\Delta x$  of strike slips is measured after the development of the 1st resist from a last shipment resist pattern as shown in drawing 9 and drawing 10 .

[0051]

(b) An aligner is equipped with the wafer 10 which applied the 2nd resist. Each last shipment pattern is imprinted by the 2nd resist on a wafer 10 with the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 1st polarizer 31, changing a focal location and an imprint location fixing light exposure at step S102 using the exposure mark for even function aberration measurement shown in drawing 6 (b) of the 1st aberration measurement unit field 34. Amount of best focus gaps  $\Delta z$  is measured from a last shipment resist pattern as shown in drawing 12 after the development of the 2nd resist.

[0052]

(c) At step S103, the 1st Zernike aberration coefficient is computed from the amount  $\Delta x$  of strike slips by the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 1st polarizer 31, and amount of best focus gaps  $\Delta z$ . For example, the Zernike multipliers  $a_5$  and  $a_6$  of astigmatism and the Zernike multiplier  $a_9$  of spherical aberration are computed as odd function aberration as the Zernike multipliers  $a_7$  and  $a_8$  of comatic aberration, the Zernike multipliers  $a_{10}$  and  $a_{11}$  of 3theta aberration, and even function aberration.

[0053]

(d) Next, an aligner is equipped with the wafer 10 which applied the 3rd resist at step S104. Double exposure is performed using the exposure mark for odd function aberration measurement shown by the 2nd drawing 6 (a), drawing 7 , and drawing 8 of the aberration measurement unit field 35, and each last shipment pattern is imprinted by the 3rd resist on a wafer 10 with the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 2nd polarizer 32. The amount  $\Delta x$  of strike slips is measured after the development of the 3rd resist from a last shipment resist pattern as shown in drawing 9 and drawing 10 .

[0054]

(e) An aligner is equipped with the wafer 10 which applied the 4th resist. Each last shipment pattern is imprinted by the 4th resist on a wafer 10 with the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 2nd polarizer 32, changing a focal location and an imprint location fixing light exposure at step S105 using the exposure mark for even function aberration measurement shown in drawing 6 (b) of the 4th aberration measurement unit field 35. Amount of best focus gaps  $\Delta z$  is measured from a last shipment resist pattern as shown in drawing 12 after the development of the 4th resist.

[0055]

(\*\*) At step S106, the 2nd Zernike aberration coefficient is computed from the amount  $\Delta x$  of strike slips by the exposure light by which the linearly polarized light was carried out with the 2nd polarizer 32, and amount of best focus gaps  $\Delta z$ . The Zernike multipliers  $a_5$  and  $a_6$  of astigmatism and the Zernike multiplier  $a_9$  of spherical aberration are computed as odd function aberration like step 103 as the Zernike multipliers  $a_7$  and  $a_8$  of comatic aberration, the Zernike multipliers  $a_{10}$  and  $a_{11}$  of 3theta aberration, and even function aberration.

[0056]

At the (g) step S107, the difference of the 1st [ which was computed ] and 2nd Zernike aberration coefficients is searched for. From the Zernike aberration coefficient difference searched for, at step S108, the engine performance of the projection lens 5 is judged and sorting of the projection lens 5 is performed.

[0057]

The Zernike aberration coefficient differences are indicated to be the 1st and 2nd Zernike aberration coefficients computed as inspection 1 and 2 to drawing 13 . If the birefringence of the projection lens 5 is fully controlled, there will be no difference between the result of inspection 1, and the result of inspection 2. On the other hand, when the birefringence of the projection lens 5 is large, since the effectual aberration of the projection lens 5 changes according to the polarization condition of light,



the measurement results of two exposure which changed and exposed the polarization condition of exposure light differ. In drawing 13, it can be said that the birefringence with big those of the Zernike aberration coefficient by which the Zernike aberration coefficient difference searched for by two inspection was measured by inspection 1 with 10% or more and projection lens 5 is shown.

[0058]

If a projection lens does not show a birefringence, the polarization condition of injection light is the same as the polarization condition of incident light. On the other hand, when the quality of the material which shows a birefringence is used, the polarization condition of incident light and injection light changes. When incidence of the polarization light is carried out to the light transmission nature ingredient in which a birefringence is shown, the polarization condition of injection light is expressed with a degree type.

[0059]

[Equation 9]

$$\begin{pmatrix} E'_p \\ E'_s \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} E_p \\ E_s \end{pmatrix} \quad (30)$$

Here, (Ep, Es) are the Jones (Jones) matrices [ concerning / M / the optical path in a light transmission nature ingredient ] concerning [ the p-polarized light component of the electric field vector of incident light and an s-polarized light component, and (Ep', Es') ] the p-polarized light component and s-polarized light component of an electric field vector of outgoing radiation light.

[0060]

The fluorite used as an ingredient of the lens of an aligner 1 changes in the magnitude of a birefringence with crystal orientation. Therefore, change of the polarization condition which changes with paths along which exposure light passes will be received. The matrix M of 2x2 defined in the point of the arbitration on a pupil 6 can express this condition. Matrix M serves as a function of a pupil coordinate and an image surface coordinate. Moreover, when considering the image formation in one certain image point, Matrix M serves as a function of a pupil coordinate.

[0061]

In an aligner 1, the diffracted light which carried out outgoing radiation from the photo mask 33 carries out incidence to the projection lens 5, and the light which passed the projection lens 5 reaches a wafer 10. On wafer 10 front face, an image is formed of interference of the two or more flux of lights. In interference of the flux of light, the polarization light which intersect perpendicularly mutually does not interfere and they do not produce the contrast of an image. Therefore, when the light in which it interferes is in a mutually different polarization condition, the contrast of an image falls and normal pattern formation becomes difficult.

[0062]

Here, the image formation by 2 flux-of-light interference is taken for an example, and the effect of a birefringence is explained. As shown in drawing 14, the exposure light B polarizes, is diffracted by the polarizer and last shipment exposure mark of a photo mask 33, and serves as the 1st and the 2nd polarization beam of light B1, and B-2. path in the projection lens 5 in which the 1st which was in the reinforcement same before carrying out incidence to a projection lens, and a polarization condition and the 2nd polarization beam of light B1, and the two flux of lights of B-2 are another -- passing -- the same plane-of-incidence (x-z flat surface of drawing 14) top -- and the condition of carrying out incidence is expressed with wafer 10 front face from the include angle to which only the include angle theta inclined to the normal of a wafer 10. Here, the 1st which carries out incidence and the 2nd polarization beam of light B1, and the polarization condition of B-2 are written using a component (p-polarized light component) parallel to plane of incidence, and a component (s-polarized light component) perpendicular to plane of incidence on wafer 10 front face. Suppose that the polarization condition of the 1st polarization beam of light B1 and the polarization condition of 2nd polarization beam-of-light B-2 are expressed like (E2p, E2s), respectively (E1p, E1s). p If phase contrast of polarization and s-polarized light is set to phigammab (gamma is 1 or 2), it is p of the electric field vector of light. A polarization component and an s-polarized light component are

expressed as follows. However, the term of a time-dependent was omitted.

[0063]

$$E_{\text{gammap}} = A_{\text{gammap}} \exp \{i - (k_{\text{gamma}} \text{ and } x + \phi_{\text{gamma}} + \phi_{\text{gamma}} / 2)\} \quad (31)$$

$$E_{\text{gammas}} = A_{\text{gammas}} \exp \{i - (k_{\text{gamma}} \text{ and } x + \phi_{\text{gamma}} - \phi_{\text{gamma}} / 2)\} \quad (32)$$

$\phi_{\text{gamma}}$  expresses the average phase of s-polarized light and a p-polarized light condition,  $i$  is an imaginary unit and  $x$  is a position vector.  $A_{\text{gammap}}$  and  $A_{\text{gammas}}$  expresses the amplitude of the p-polarized light component of electric field, and an s-polarized light component, respectively. A wave number vector is expressed and  $k_{\text{gamma}}$  is specifically expressed with a degree type.

[0064]

$$k_1 = 2 \text{ and } \pi / \lambda (\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (33)$$

$$k_2 = 2 \text{ and } \pi / \lambda (-\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (34)$$

Consideration of that the p-polarized light and s-polarized light components and the plane of vibration of electric field cross at right angles mutually do not interfere of the interference wave  $I$  in a wafer front face expresses it with the sum of the interference wave  $I_p$  of p-polarized light, and the interference wave  $I_s$  of s-polarized light under such conditions. namely

[Equation 10]

$$I_p = |E_1 p + E_2 p|^2 = |A_1 p|^2 + |A_2 p|^2 + 2 \text{ and } A_1 p \cdot A_2 p \cdot (2 \text{ and } k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_{\text{hib}}) \quad (35)$$

$$I_s = |E_1 s + E_2 s|^2 = |A_1 s|^2 + |A_2 s|^2 + 2 \text{ and } A_1 s \cdot A_2 s \cdot (2 \text{ and } k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_{\text{hib}}) \quad (36)$$

$$I = I_p + I_s$$

$$= I_1 + I_2 + A_p \cos(2 \text{ and } k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_{\text{hib}}) + A_s \cos(2 \text{ and } k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_{\text{hib}}) \quad (37)$$

However,  $I_1$  and  $I_2$  are [ the amplitude of the interference wave of p-polarized light, and  $A_s = 2$  and  $A_1 \cos \theta - A_2 \sin \theta$  of the reinforcement of a beam of light 1 and a beam of light 2, and  $A_p = 2$  and  $A_1 \sin \theta + A_2 \cos \theta$  ] the amplitude of the interference wave of s-polarized light, respectively.  $k$  is the magnitude of a wave number vector, the phase contrast of the two flux of lights with  $\Delta \phi = \phi_1 - \phi_2$  [ unrelated to polarization ], and the phase contrast of the two flux of lights which depended for  $\Delta \phi_{\text{hib}} = \phi_1 \cdot b - \phi_2 \cdot b$  on the magnitude of polarization. Moreover, aberration differs for every interference wave and they are the aberration of a p-polarized light component, and the aberration of an s-polarized light component,

$$\phi_p = \Delta \phi + \Delta \phi_{\text{hib}} \quad (38)$$

$$\phi_s = \Delta \phi - \Delta \phi_{\text{hib}} \quad (39)$$

It becomes.

[0065]

The aberration  $\phi$  as the whole image can be approximated by the degree type using aberration  $\phi_{\text{p}}$  of the oscillating component  $A_s$  of aberration  $\phi_{\text{p}}$  of the oscillating component  $A_p$  of the interference wave of p-polarized light, and p-polarized light, and the interference wave of s-polarized light, and s-polarized light.

[0066]

[Equation 11]

$$\phi = (A_p \phi_p + A_s \phi_s) / (A_p + A_s) = \Delta \phi + \Delta \phi_{\text{hib}} \text{ and } (A_p - A_s) / (A_p + A_s) \quad (40)$$

$A_p$  and  $A_s$  are values decided by the polarization condition of the two flux of lights, and they are the magnitude of each component of the vector which imposes the matrix  $M$  depending on a pupil coordinate on the vector showing the polarization condition of incident light, and is acquired as shown in (30) types. namely, the polarization condition of the light which carries out incidence of the polarization condition of the two flux of lights to the projection lens 5 -- it changes. Therefore, before carrying out incidence to the projection lens 5, the effects of aberration to the image of the 10th page of a wafer differ by changing the polarization condition of light. That is, the value of the aberration which measured and asked for the resist pattern for aberration measurement formed in the 10th page of a wafer changes according to the polarization condition of the light by the side of incidence. When the birefringence of the projection lens 5 is sufficiently small, the polarization condition of the light which passes the projection lens 5 does not change. At this time, Matrix  $M$

turns into a unit matrix by the pupil coordinate. Therefore, since it is  $\phi_1 = \phi_2$  and  $\Delta\phi = 0$ , it is not based on the polarization condition by the side of incidence, but  $\phi$  of (40) types becomes fixed. That is, if the value of the aberration which measured and asked for the resist pattern for aberration measurement formed in the 10th page of a wafer does not change with the polarization conditions of the light by the side of incidence, it can judge with the birefringence of the projection lens 5 being sufficiently small.

[0067]

Here, although explained taking the case of 2 flux-of-light interference, the argument with the same said of the case of 3 flux-of-light interference is realized. That is, the size of the birefringence of the projection lens 5 can be investigated by changing the polarization condition of incident light, and exposing and carrying out aberration measurement.

[0068]

(Gestalt of other operations)

As mentioned above, although the gestalt of operation of this invention was indicated, if this invention is limited, he should not understand the statement and the drawing which make a part of this indication. The gestalt, example, and employment technique of various alternative implementation will become clear to this contractor from this indication.

[0069]

Although the 1st and 2nd polarizers 31 and 32 of a wire grid mold were arranged in parallel with the end face of a photo mask 33, the photo mask 33 concerning the gestalt of operation of this invention The 1st and 2nd aberration measurement unit field 34a which are arranged at 1st surface 15a of photo-mask 33a as shown in drawing 15, The direction of the pattern of the wire grid mold of the 1st and 2nd polarizers 161 and 162 arranged at 2nd surface 16a so that 35a may be countered may be arranged so that it may intersect perpendicularly with different slanting sense mutually to a photo-mask 33a end face. Even in such a case, since the linearly polarized light which intersects perpendicularly mutually with the 1st and 2nd polarizers 161 and 162 is acquired, it cannot be overemphasized that the same effectiveness as the gestalt of operation of this invention is acquired.

[0070]

Moreover, as shown in drawing 16, you may be the structure which counters 1st aberration measurement unit field 34b of 1st surface 15b of photo-mask 33b, arranges a polarizer 172 to 2nd surface 16b, and does not arrange a grid mold polarizer in the field of 2nd surface 16b which counters 2nd aberration measurement unit field 35b. In this case, inspection is conducted from the difference of the aberration of the projection lens 5 according to the condition of polarization light and unpolarized light.

[0071]

Moreover, in the gestalt of operation of this invention, although the wire grid mold polarizer is arranged on the 2nd front face 16 of a photo mask 33, a wire grid mold polarizer may be arranged not on the photo mask 33 but on the pellicle 8. As shown in drawing 17 (a), pellicle 8a is installed for dust antisticking to photo-mask 33c. As photo-mask 33c is shown in drawing 17 (b), the 1st and 2nd aberration measurement unit fields 34c and 35c are arranged at 1st surface 15c. The 1st and 2nd polarizers 31a and 32a are arranged in the location which counters the 1st [ of 1st surface 15c on pellicle 8a ], and 2nd aberration measurement unit fields 34c and 35c, as shown in drawing 17 (c). Pellicle 8a is the structure where the protection-from-light sections 19a-19c of protection-from-light \*\*\*\* we have been arranged the period P of a last shipment pattern on the same transparency substrate 18 as photo-mask 33c, as shown in drawing 18. Since the polarization condition of the exposure light which penetrates photo-mask 33c does not change, even if a wire grid mold polarizer is on a pellicle 8, it cannot be overemphasized that the same effectiveness as the gestalt of operation of this invention is acquired. In addition, the 1st and 2nd polarizers 31a and 32a of the same effectiveness being acquired even if it is the field which counters photo-mask 33C of pellicle 8a, or its opposite field are natural.

[0072]

Furthermore, in the gestalt of operation of this invention, although the odd function aberration of comatic aberration and 3theta aberration, and spherical aberration and the even function aberration of astigmatism are used as aberration of the projection lens 5, if there is any one among four sorts of

aberration at least, a forward inspection of a projection lens is possible. Or of course, one side may be used among odd function aberration and even function aberration. Moreover, as for the aberration measurement approach of the projection lens 5, it is needless to say that not only the approach used for explanation but an option is applicable.

[0073]

Thus, as for this invention, it is needless to say that the gestalt of various operations which have not been indicated here etc. is included. Therefore, the technical range of this invention is appointed only according to the invention specification matter which starts an appropriate claim from the above-mentioned explanation.

[0074]

[Effect of the Invention]

According to this invention, the inspection approach of projection optics of carving the effect of a birefringence with other image degradation factors, and inspecting it can be offered.

[0075]

Moreover, according to this invention, the photo mask used for the inspection approach of projection optics can be offered.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the flow chart used for explanation of the inspection approach of the projection optics concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 2] It is the outline block diagram of the aligner concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 3] It is drawing explaining an example of the configuration of the photo mask concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 4] It is drawing explaining an example of the structure of the wire grid polarizer concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 5] It is the production process Fig. of the wire grid polarizer concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 6] It is drawing showing the pattern of the aberration measurement exposure mark concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 7] It is drawing showing the pattern of the odd function aberration measurement exposure mark concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 8] It is drawing showing other patterns of the odd function aberration measurement exposure mark concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 9] It is drawing explaining the resist pattern for the odd function aberration measurement concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 10] It is drawing explaining other resist patterns for the odd function aberration measurement concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 11] It is drawing explaining the diffracted light which passes the pupil surface concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 12] It is drawing explaining the resist pattern for the even function aberration measurement concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 13] It is drawing showing the measurement result of the Zernike aberration coefficient concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 14] It is drawing explaining 2 flux-of-light interference concerning the gestalt of operation of this invention.

[Drawing 15] It is drawing explaining an example of the configuration of the photo mask concerning the gestalt of operation of others of this invention.

[Drawing 16] It is drawing explaining other examples of the configuration of the photo mask concerning the gestalt of operation of others of this invention.

[Drawing 17] It is drawing explaining an example of the configuration of the photo mask concerning the gestalt of operation of others of this invention, and a pellicle.

[Drawing 18] It is cross-section structural drawing of the pellicle concerning the gestalt of operation of others of this invention.

[Description of Notations]

1 Aligner  
2 Light Source  
3 Illumination-Light Study System  
4 Mask Stage  
5 Projection Lens  
6 Pupil  
7 Wafer Stage  
8 8a Pellicle  
9 Projection Optics  
10 Wafer  
11 Wire Grid Polarizer  
12 18 Transparence substrate  
13a-13c, and 19a-19c Protection-from-light section  
15, 15a-15c The 1st front face  
16, 16a-16c The 2nd front face  
21 Mask Pattern  
22 Mask Pattern Image  
31, 31a, and 161 The 1st polarizer  
32, 32a, and 162 The 2nd polarizer  
33, 33a-33c Photo mask  
34, 34a-34c 1st aberration measurement unit field  
35, 35a-35c 2nd aberration measurement unit field  
36a-36i, and 37a-37i Aberration measurement unit  
41,a [ 61 ]-a [ 63 ], 121a - 123a last shipment seating-rim pattern  
42, 61b-63b, and 121b-123b Outer frame pattern  
43 Exposure Mark  
44 Clipping Exposure Mark  
45, 64b-66b Outer frame clipping pattern  
46, 64a-66a Seating-rim clipping pattern  
47 Vertical Last Shipment Pattern  
48 Horizontal Last Shipment Pattern  
49 1st Slanting Last Shipment Pattern  
50 2nd Slanting Last Shipment Pattern  
51, 67b-69b, and 131b-133b Outer frame resist pattern  
52,a [ 67 ]-a [ 69 ], 131a - 133a last shipment seating-rim resist pattern  
53 Resist Pattern  
61,121 1st exposure mark  
62 2nd Exposure Mark  
63 3rd Exposure Mark  
64,124 1st clipping exposure mark  
65 2nd Clipping Exposure Mark  
66 3rd Clipping Exposure Mark  
67,131 The 1st resist pattern  
68 2nd Resist Pattern  
69 3rd Resist Pattern  
70, 70a, and 70b Pupil surface  
81 1st Vertical Last Shipment Mark  
82 1st Horizontal Last Shipment Mark  
83 2nd Vertical Last Shipment Mark  
84 2nd Horizontal Last Shipment Mark  
91a-91e 1st vertical last shipment resist pattern  
92a-92e 1st horizontal last shipment resist pattern  
93a-93e 2nd vertical last shipment resist pattern  
94a-94e 2nd horizontal last shipment resist pattern

111a-111g Vertical last shipment resist pattern  
112a-112g Horizontal last shipment resist pattern  
113a-113g 1st slanting last shipment resist pattern  
114a-114g 2nd slanting last shipment resist pattern  
122 1st Rotation Exposure Mark  
123 2nd Rotation Exposure Mark  
125 1st Rotation Clipping Exposure Mark  
126 2nd Rotation Clipping Exposure Mark  
132 1st Rotation Resist Pattern  
133 2nd Rotation Resist Pattern  
172 Polarizer

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

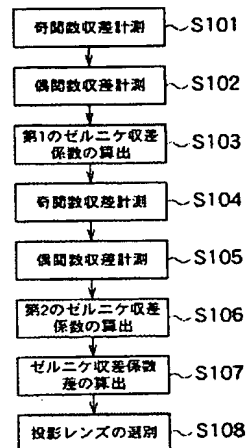
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

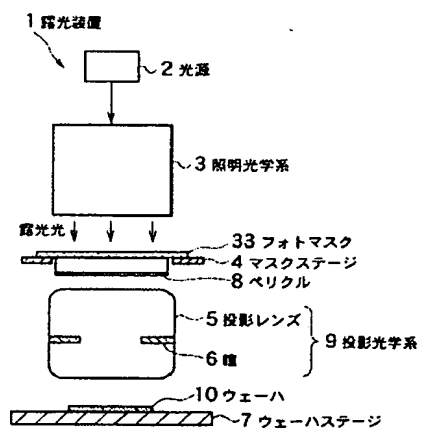
DRAWINGS

---

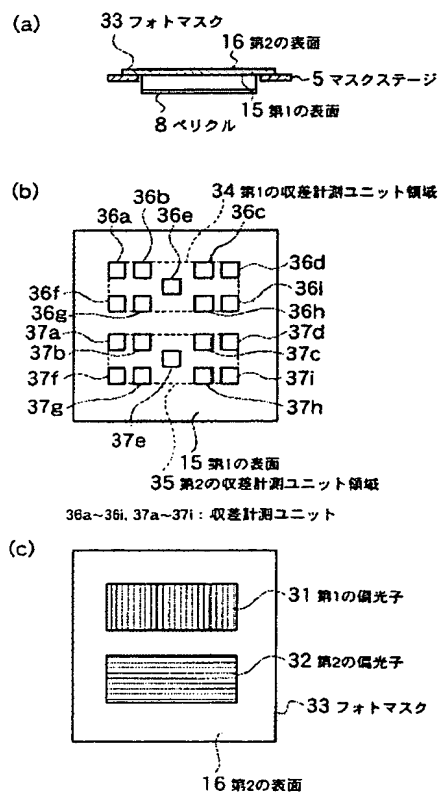
[Drawing 1]



[Drawing 2]

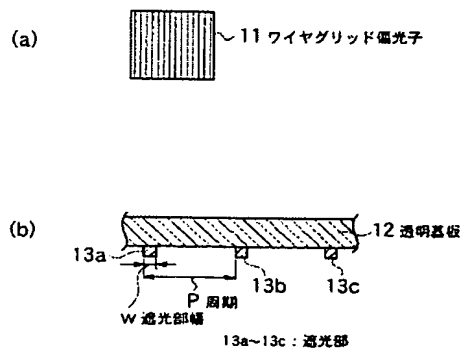


[Drawing 3]

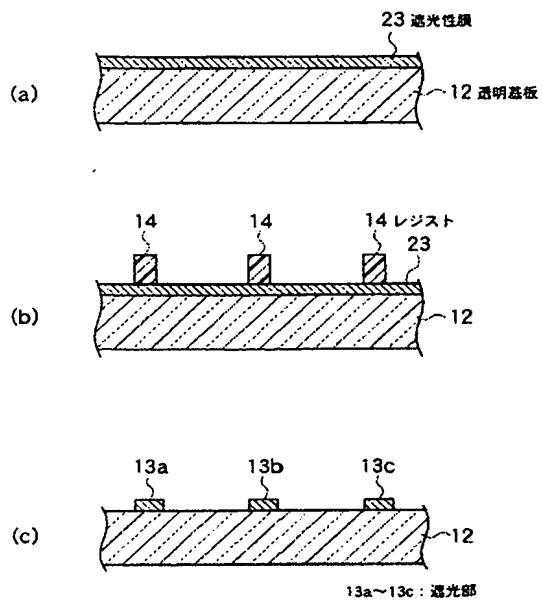




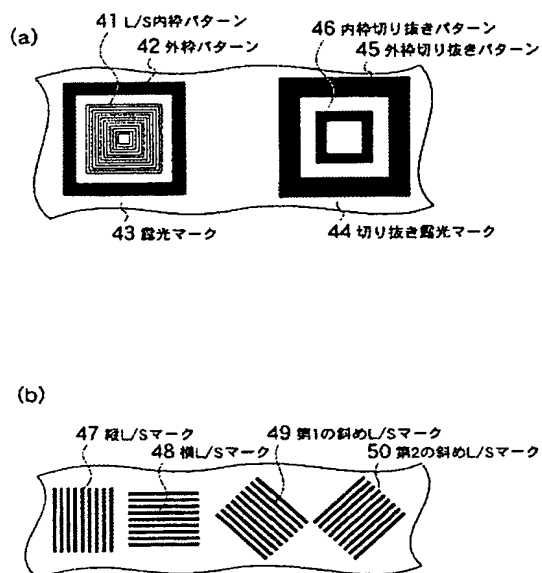
[Drawing 4]



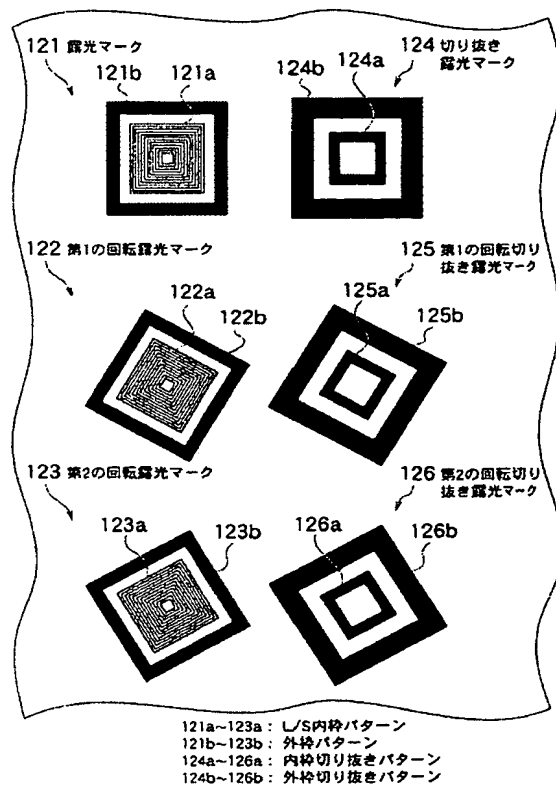
[Drawing 5]



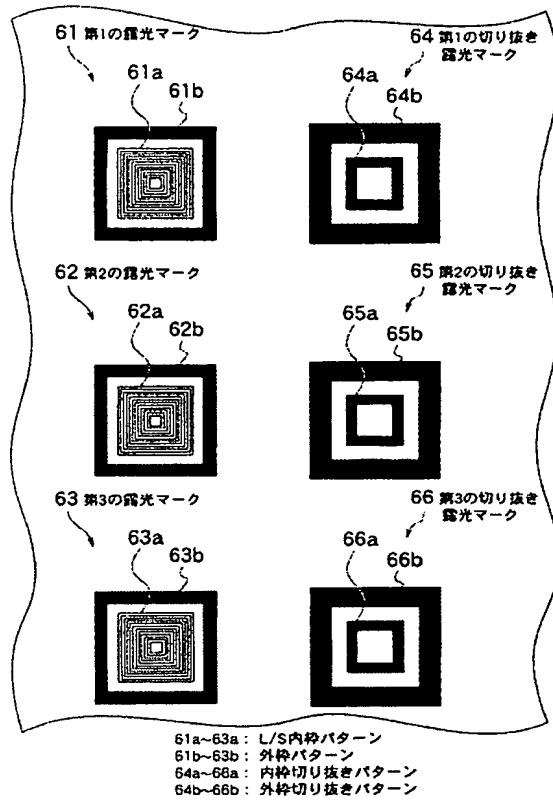
[Drawing 6]



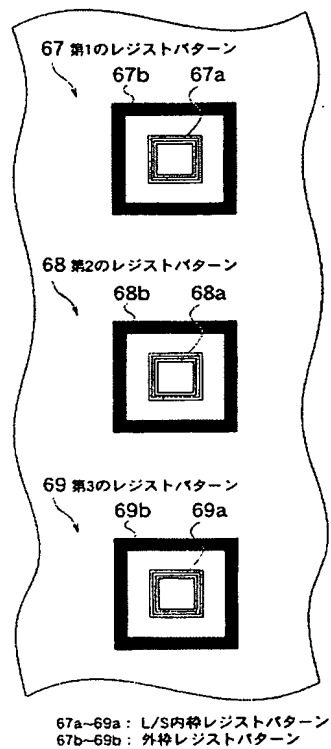
[Drawing 7]



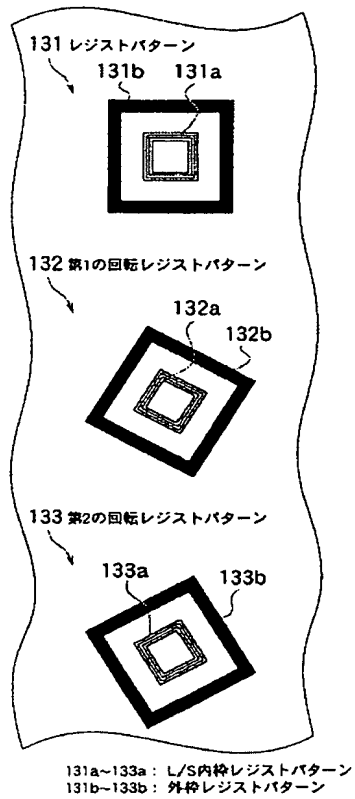
[Drawing 8]



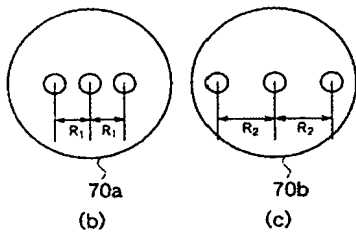
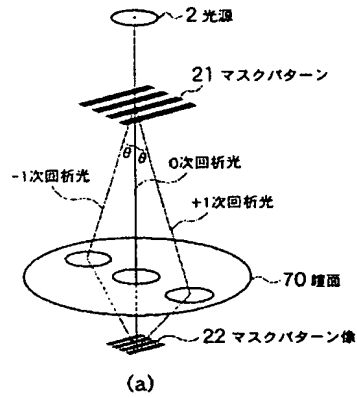
[Drawing 9]



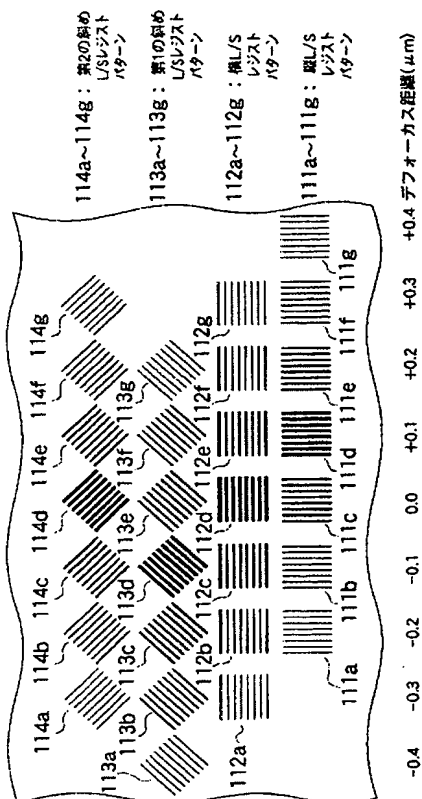
[Drawing 10]



[Drawing 11]



[Drawing 12]

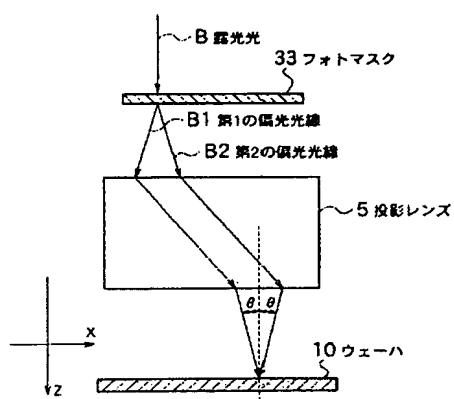


[Drawing 13]

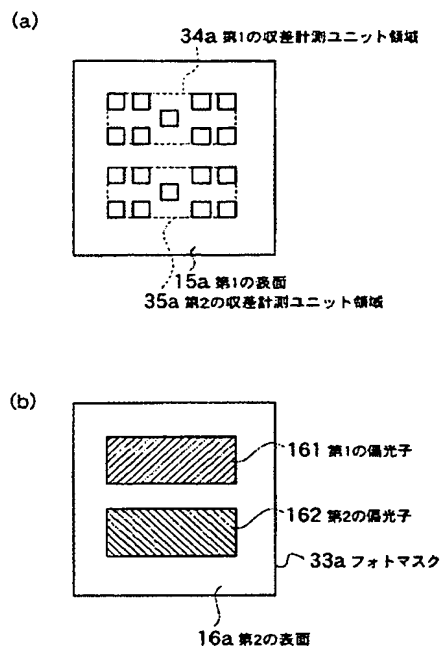
	検査 1	検査 2	差(検査1-検査2)
非点収差 a5	10.9	6.0	4.8
非点収差 a6	6.7	15.8	-9.1
コマ収差 a7	4.2	-2.2	6.4
コマ収差 a8	0.5	-7.3	7.8
球面収差 a9	8.5	-2.4	10.9
3 $\theta$ 収差 a10	0.0	12.0	-12.0
3 $\theta$ 収差 a11	6.5	0.1	6.4

単位nm

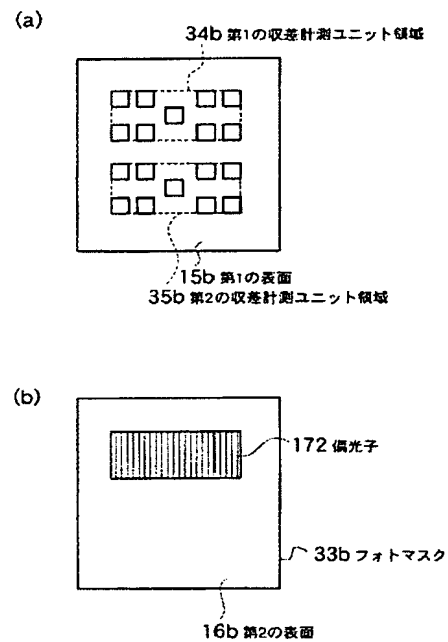
[Drawing 14]



[Drawing 15]

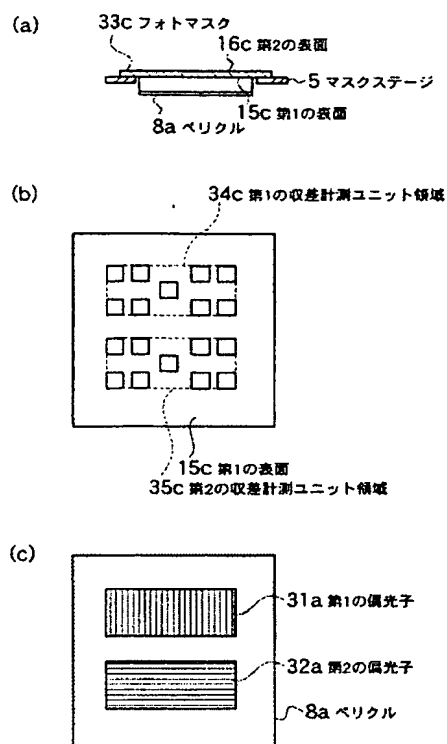


[Drawing 16]

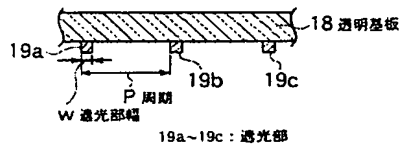




[Drawing 17]



[Drawing 18]



---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-47737

(P2004-47737A)

(43) 公開日 平成16年2月12日 (2004.2.12)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 L 21/027	H 0 1 L 21/30 5 1 6 A	2 G 0 8 6
G 0 1 M 11/02	G 0 1 M 11/02 B	2 H 0 4 9
G 0 2 B 5/30	G 0 2 B 5/30	2 H 0 9 5
G 0 3 F 1/08	G 0 3 F 1/08 P	5 F 0 4 6
	H 0 1 L 21/30 5 0 2 P	

審査請求 有 請求項の数 26 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2002-203194 (P2002-203194)  
 (22) 出願日 平成14年7月11日 (2002.7.11)

(71) 出願人 000003078  
 株式会社東芝  
 東京都港区芝浦一丁目1番1号  
 (74) 代理人 100083806  
 弁理士 三好 秀和  
 (74) 代理人 100068342  
 弁理士 三好 保男  
 (74) 代理人 100100712  
 弁理士 岩▲崎▼ 幸邦  
 (74) 代理人 100100929  
 弁理士 川又 澄雄  
 (74) 代理人 100108707  
 弁理士 中村 友之  
 (74) 代理人 100095500  
 弁理士 伊藤 正和

最終頁に続く

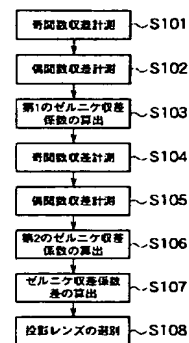
(54) 【発明の名称】 検査方法及びフォトマスク

## (57) 【要約】

【課題】 投影光学系の高精度の検査方法を提供する。

【解決手段】 偏光された第1の露光光でウェーハ10上に塗布されたレジストにフォトマスク33の露光マークを転写して投影光学系9の光学特性を求める。次に、第1の露光光と偏光状態が異なる第2の露光光でウェーハ10上に塗布されたレジストにフォトマスク33の露光マークを転写して投影光学系9の光学特性を求める。そして、第1及び第2の露光光で求めた前記光学特性の差を算出して投影光学系9の性能検査を行う。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

偏光された第 1 の露光光でウェーハ上に塗布されたレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第 1 の光学特性を求めるステップと、  
前記第 1 の露光光と偏光状態が異なる第 2 の露光光でウェーハ上に塗布された新たなレジストに前記フォトマスクの露光マークを転写して前記投影光学系の第 2 の光学特性を求めるステップと、  
前記第 1 及び第 2 の光学特性の差を算出するステップ  
とを含むことを特徴とする検査方法。

## 【請求項 2】

前記第 1 の露光光が、直線偏光であることを特徴とする請求項 1 に記載の検査方法。

## 【請求項 3】

前記第 2 の露光光が、前記第 1 の露光光の偏光と直交する偏光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の検査方法。

## 【請求項 4】

前記第 2 の露光光が、無偏光であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の検査方法。

## 【請求項 5】

前記露光光が、前記フォトマスクの前記露光マークと対向するように形成された偏光子により偏光されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

## 【請求項 6】

前記露光光が、ペリクル上に形成された偏光子により偏光されることを特徴とする請求項 1 ～ 4 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

## 【請求項 7】

前記光学特性が、前記投影光学系の投影レンズの収差であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

## 【請求項 8】

前記投影レンズの収差は、コマ収差、球面収差、非点収差、3 $\theta$ 収差のうちいずれかであることを特徴とする請求項 7 に記載の検査方法。

## 【請求項 9】

前記収差の計測が、三光束干渉条件で行われることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の検査方法。

## 【請求項 10】

前記収差が、ゼルニケ多項式の収差係数で表わされることを特徴とする請求項 7 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の検査方法。

## 【請求項 11】

第 1 の表面及び前記第 1 の表面に対向する第 2 の表面を有する透明基板と、  
前記第 1 の表面に配置された露光マークと、  
前記第 2 の表面に前記露光マークに対向して配置された偏光子  
とを備えることを特徴とするフォトマスク。

## 【請求項 12】

前記偏光子が、露光光を第 1 の偏光状態に偏光する第 1 の偏光子と、  
前記露光光を前記第 1 の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第 2 の偏光子  
とからなることを特徴とする請求項 11 に記載のフォトマスク。

## 【請求項 13】

前記第 1 の偏光状態が、直線偏光であることを特徴とする請求項 12 に記載のフォトマスク。

## 【請求項 14】

前記第 2 の偏光状態が、前記第 1 の偏光状態と偏光面が互いに直交することを特徴とする請求項 12 又は 13 に記載のフォトマスク。

## 【請求項 15】

前記第2の偏光状態が、無偏光状態であることを特徴とする請求項12又は13に記載のフォトマスク。

【請求項16】

前記偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなることを特徴とする請求項11～15のいずれか1項に記載のフォトマスク。

【請求項17】

前記偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であることを特徴とする請求項16に記載のフォトマスク。

【請求項18】

前記露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことを特徴とする請求項11～17のいずれか1項に記載のフォトマスク。 10

【請求項19】

第1の表面を有する第1の透明基板と、  
前記第1の表面に配置された露光マークと、  
前記第1の表面に対向するように配置され、第2の表面を有する第2の透明基板からなるペリクルと、  
前記第2の表面に前記露光マークに対向して配置された偏光子  
とを備えることを特徴とするフォトマスク。

【請求項20】

前記偏光子が、露光光を第1の偏光状態に偏光する第1の偏光子と、  
前記露光光を前記第1の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第2の偏光子  
とからなることを特徴とする請求項19に記載のフォトマスク。 20

【請求項21】

前記第1の偏光状態が、直線偏光であることを特徴とする請求項20に記載のフォトマスク。

【請求項22】

前記第2の偏光状態が、前記第1の偏光状態と偏光面が互いに直交することを特徴とする請求項20又は21に記載のフォトマスク。

【請求項23】

前記第2の偏光状態が、無偏光状態であることを特徴とする請求項20又は21に記載のフォトマスク。 30

【請求項24】

前記偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなることを特徴とする請求項19～23のいずれか1項に記載のフォトマスク。

【請求項25】

前記偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であることを特徴とする請求項24に記載のフォトマスク。

【請求項26】

前記露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことを特徴とする請求項19～25のいずれか1項に記載のフォトマスク。 40

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光リソグラフィ技術に関し、特に露光装置の投影光学系の性能検査方法及び検査に用いるフォトマスクに関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体デバイスを構成するパターンの最小線幅、最小周期は年々微細化し、このパターンを解像する露光装置に要求される最小解像線幅は現在100nm程度以下となってきた。露光装置の最小解像周期は、露光波長 $\lambda$ 及び投影レンズの開口数（NA）で決まる。 50

より微細なパターンを形成するためには露光波長 $\lambda$ を短波長化し、NAを拡大すればよい。この目的のために、露光光の短波長化が進められている。近年ではアルゴンフロライド(ArF)エキシマレーザ露光装置( $\lambda = 193\text{ nm}$ )が実用化され、またフッ素ガス( $\text{F}_2$ )エキシマレーザ露光装置( $\lambda = 157\text{ nm}$ )が数年後の実用化を目標に開発が行われている。193 nm以下の波長で光リソグラフィ用レンズとして使用できる光学材料は種類が限られており、現在の技術では波長193 nmの光には蛍石(フッ化カルシウム単結晶)と熔融石英が使用できるが、波長157 nmの光に対しては蛍石しか使うことができない。

#### 【0003】

レンズを使用するとき問題となる現象の一つに複屈折がある。屈折率は光の屈折角や位相速度を支配する物理量であるから、投影レンズが複屈折を示す場合、投影レンズの結像特性が光の偏光状態によって変化する。複屈折があると、例えば露光光の偏光状態ごとに異なる位置に像を結ぶことによって像がぼけ、像コントラストや解像力が低下して、微細パターンが形成できない恐れがある。

#### 【0004】

蛍石は特定の結晶軸方向に比較的大きな複屈折をもつことが最近の研究から判明した。すなわち、蛍石の複屈折を示さない結晶軸を光軸方向にとってレンズを製造したとしても、光軸と平行でない方向に沿う光路については複屈折を示す。この結果、転写すべきパターンが微細であればあるほど、光軸と平行でない方向に多くの回折光が発生し、複屈折の影響を受けやすくなってしまう。レンズ全体として複屈折の影響を抑制するために、複数の蛍石のレンズを、それぞれの結晶軸方向を互いに変えて配置することによって、複屈折の影響をある程度相殺したり特定の光路に影響が集中したりしないようにできる。しかし、その場合でも複屈折の影響を完全に抑制することは、現在の技術では困難である。

#### 【0005】

##### 【発明が解決しようとする課題】

露光装置の投影光学系に用いるレンズ材の複屈折は結像性能を劣化させるため抑制しなければならないが、結像の劣化状態だけをみてもそれが複屈折のために発生しているかどうか見分けられない。半導体デバイスの微細化のために複屈折の小さいレンズを投影光学系に使用する必要があり、複屈折が可能な限り抑制されているかどうかを、他の像劣化要因と切り分けて検査する方法が必要である。

#### 【0006】

本発明は、このような課題を解決し、複屈折の影響を他の像劣化要因と切り分けて検査する投影光学系の検査方法を提供することである。

#### 【0007】

本発明の他の目的は、投影光学系の検査方法に用いるフォトマスクを提供することである。

#### 【0008】

##### 【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、本発明の第1の特徴は、(イ)偏光された第1の露光光でウェーハ上に塗布されたレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第1の光学特性を求めるステップと、(ロ)第1の露光光と偏光状態が異なる第2の露光光でウェーハ上に塗布された新たなレジストにフォトマスクの露光マークを転写して投影光学系の第2の光学特性を求めるステップと、(ハ)第1及び第2の光学特性の差を算出するステップとを含む検査方法であることを要旨とする。

#### 【0009】

本発明の第1の特徴によれば、複屈折の影響を検査する投影光学系の検査方法を提供することができる。

#### 【0010】

本発明の第1の特徴において、第1の露光光が、直線偏光であることが好ましい。また、第2の露光光が、第1の露光光の偏光と直交する偏光であることが好ましい。また、第2

10

20

30

40

50

の露光光は、無偏光であってもよい。また、露光光は、フォトマスクの露光パターンと対向するように形成された偏光子により偏光される。このようにして、偏光状態の異なる露光光により光学特性が計測され、投影光学系の性能検査が行われる。また、露光光が、ペリクル上に形成された偏光子により偏光されてもよい。露光光の偏光状態はフォトマスクを透過しても変化しないためである。また、光学特性が、投影光学系の投影レンズの収差であることが好ましい。投影レンズの収差は、コマ収差、球面収差、非点収差、 $3\theta$ 収差のうち少なくとも一つが用いられる。収差が、ゼルニケ多項式の収差係数で表わされることが好ましい。さらに、収差の計測が、三光束干渉条件で行われることが好ましい。

#### 【0011】

本発明の第2の特徴は、(イ)第1の表面及び第1の表面に対向する第2の表面を有する透明基板と、(ロ)第1の表面に配置された露光マークと、(ハ)第2の表面に露光マークに対向して配置された偏光子とを備えるフォトマスクであることを要旨とする。

10

#### 【0012】

本発明の第2の特徴によれば、投影光学系の複屈折の影響を検査するフォトマスクを提供することができる。

#### 【0013】

本発明の第3の特徴は、(イ)第1の表面を有する第1の透明基板と、(ロ)第1の表面に配置された露光マークと、(ハ)第1の表面に対向するように配置され、第2の表面を有する第2の透明基板からなるペリクルと、(ニ)第2の表面に露光マークに対向して配置された偏光子とを備えるフォトマスクであることを要旨とする。

20

#### 【0014】

本発明の第3の特徴によれば、投影光学系の複屈折の影響を検査するフォトマスクを提供することができる。

#### 【0015】

本発明の第2及び第3の特徴において、偏光子が、露光光を第1の偏光状態に偏光する第1の偏光子と、露光光を第1の偏光状態とは異なる偏光状態に偏光する第2の偏光子とからなることが好ましい。また、第1の偏光状態が、直線偏光であることが好ましい。また、第2の偏光状態が、第1の偏光状態と偏光面が互いに直交することが好ましい。また、第2の偏光状態が、無偏光状態であってもよい。また、偏光子が、ラインアンドスペースパターンよりなるワイヤグリッド型偏光子であることが好ましい。ワイヤグリッド型偏光子のラインアンドスペースパターンの周期が、露光光の波長以下であれば、光を直線偏光させることができる。また、露光マークが、投影レンズの収差計測パターンを含むことが好ましい。

30

#### 【0016】

##### 【発明の実施の形態】

以下図面を参照して、本発明の実施の形態について説明する。以下の図面の記載において、同一または類似の部分には同一または類似の符号が付してある。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。また図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

40

#### 【0017】

本発明の実施の形態の投影光学系の性能検査方法の説明に用いる露光装置1は、図2に示すような屈折型の露光装置(スキャナ)で、縮小比は4:1としている。光源2として波長 $\lambda$ :193nmのアルゴンフロライド(ArF)エキシマレーザが用いられる。照明光学系3には、フライアイレンズやコンデンサレンズ等が含まれる。投影光学系9は、投影レンズ5と瞳6等により構成されている。露光光は、照明光学系3と投影光学系9との間のマスクステージ4上に設置されたフォトマスク33のパターンを、ウェーハステージ7上のウェーハ10に縮小投影する。ペリクル8は、フォトマスク33上に塵が付着するのを防止するために設置され、フォトマスク33と同じ材料の透明基板からなる。なお、説

50

明の便宜上、露光装置 1 として、スキヤナを示しているが、スキヤナの他にも、ステッパ等が使用可能である。また、縮小比を 4 : 1 としているが、任意の縮小比でもよいことは勿論である。

【 0 0 1 8 】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク 3 3 は、図 3 ( a ) に示すように、露光装置 1 のマスクステージ 5 に、ペリクル 8 で保護された第 1 の表面 1 5 を下向きにして設置される。フォトマスク 3 3 の第 1 の表面 1 5 上には、図 3 ( b ) に示すように、投影光学系 9 の各種のレンズ収差、例えば、コマ収差や 3  $\theta$  収差等の奇関数収差、及び球面収差や非点収差等の偶関数収差を計測する収差計測ユニット 3 6 a ~ 3 6 i 及び 3 7 a ~ 3 7 i が、それぞれ第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 及び第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 に配置されている。フォトマスク 3 3 の第 2 の表面 1 6 上には、図 3 ( c ) に示すように、二種類のワイヤグリッド型偏光子が配置される。第 1 の収差計測ユニット領域 3 4 に対向して配置された第 1 の偏光子 3 1 と、第 2 の収差計測ユニット領域 3 5 に対向して配置された第 2 の偏光子 3 2 のワイヤグリッドパターンの周期方向は、互いに直交している。例えば、第 1 の偏光子 3 1 のワイヤグリッドパターンの周期方向は、図 3 ( c ) に示すフォトマスク 3 3 の左右方向の辺に対して平行で、第 2 の偏光子 3 2 のワイヤグリッドパターンの周期方向は、第 1 の偏光子 3 1 のワイヤグリッドパターンの周期方向と直交する方向である。

【 0 0 1 9 】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク 3 3 の第 2 の表面 1 6 に配置されるワイヤグリッド型偏光子 1 1 は、図 4 ( a ) の平面図に示すように、所定の方向に周期性をもつラインアンドスペース ( L / S ) パターンである。ワイヤグリッド型偏光子 1 1 の L / S パターンの周期方向の断面構造は、図 4 ( b ) に示すように、例えば、透明石英からなる透明基板 1 2 上にクロム ( C r ) 等の金属膜からなる遮光部 1 3 a ~ 1 3 c が一定の遮光部幅 w : 2 0 n m 、一定の周期 P : 1 0 0 n m で配列されている。ワイヤグリッド型偏光子 1 1 は入射した光のうち、L / S パターンの周期 P 方向に電場の振動面をもつ直線偏光光のみを通過させる機能を持つ。

【 0 0 2 0 】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク 3 3 は、露光装置 1 のマスクステージ 4 に第 2 の表面 1 6 を露光光の入射側に向けて設置される。ここで、第 1 又は第 2 の収差計測ユニット領域 3 4 、 3 5 のそれぞれの大きさが、露光装置 1 の静止露光における一括露光領域と一致するように設計されている。フォトマスク 3 3 に入射する露光光は、まず第 1 又は第 2 の偏光子 3 1 、 3 2 により偏光面が互いに直交する直線偏光光とされて、第 1 又は第 2 の収差計測ユニット領域 3 4 、 3 5 に入射する。二つの直線偏光光を用いて露光したパターンにより収差計測を行うため、投影光学系 9 の投影レンズ 5 の複屈折の大小が判定できる。なお、本発明の実施の形態では、第 1 及び第 2 の偏光子 3 1 、 3 2 を有する第 2 の表面 1 6 を露光光の入射側に向けたが、逆に露光光の出射側に向けて設置してもよい。フォトマスク 3 3 の収差計測ユニット 3 6 a ~ 3 6 i 及び 3 7 a ~ 3 7 i を通過する際に、露光光の偏光状態は変化せず、第 1 及び第 2 の偏光子 3 1 、 3 2 によってそれぞれの直線偏光成分だけが選択的に取り出されるからである。

【 0 0 2 1 】

ワイヤグリッド型偏光子 1 1 の形成方法は、半導体デバイス製造に用いられるフォトマスクの製造方法と同様である。まず、図 5 ( a ) に示すように、露光光に対してほぼ透明な透明基板 1 2 上に、クロム等の金属の蒸着等により、遮光性膜 2 3 が形成される。次いで、遮光性膜 2 3 表面にレジストを塗布し、電子線描画装置でワイヤグリッドパターンを描画し、現像工程により、図 5 ( b ) に示すように、レジストパターン 1 4 が遮光性膜 2 3 上に形成される。その後、反応性イオンエッチング ( R I E ) 工程等により遮光性膜 2 3 が選択エッチングされて、図 5 ( c ) に示すように、遮光部 1 3 a ~ 1 3 c が透明基板 1 2 上に形成され、ワイヤグリッド型偏光子 1 1 が作製される。また、本発明の実施の形態に係る収差の計測に用いる収差計測用マークも、後述するように、基本構造は所定の周期 P をもつラインアンドスペース ( L / S ) パターンであり、図 5 に示したワイヤグリッド

10

20

30

40

50



型偏光子 11 の形成方法と同様にして作製される。

#### 【0022】

本発明の実施の形態に係るフォトマスクは、第1の表面15上に、投影光学系9の各種の収差を計測する収差計測用マークを含む収差計測ユニット36a～36i及び37a～37iが第1及び第2の収差計測ユニット領域34、35に形成され、さらに、第2の表面16上に、互いに直交するパターンを有するワイヤグリッド型の第1及び第2の偏光子31、32が対向するように形成されて、作製される。

#### 【0023】

本発明の実施の形態に係る収差の計測には、例えば、特許第3256678号公報において本筆頭発明者らが示した、レンズの収差計測用マークが用いられる。収差計測用マークには、所定の周期Pをもつラインアンドスペース(L/S)パターンが含まれている。すべてのL/Sパターンの線幅/周期比は0.5である。周期Pは、露光装置のコヒーレンスファクタ $\sigma$ 、露光波長 $\lambda$ 、投影レンズ開口数NAとの間に次の関係を満たしている。

#### 【0024】

$$3 \cdot \lambda / (NA \cdot (1 + \sigma)) \geq P \geq \lambda / (NA \cdot (1 - \sigma)) \quad (1)$$

(1)式の条件は、L/Sパターンの像が、0次回折光と±1次回折光の干渉により形成される条件であり、「3光束干渉条件」と呼ばれる。即ち、1次回折光が投影光学系9の瞳6から外れず、3次以上の高次回折光が瞳6面を通過しない条件を意味している。また、L/Sパターンの線幅/周期比を0.5としているため、2次回折光は発生しない。3光束干渉条件下の収差計測では、+1次回折光の経路における波面誤差と-1次回折光の経路における波面誤差の和及び差が計測される。

#### 【0025】

コマ収差や3 $\theta$ 収差等の奇関数収差を計測するための収差計測用マークの基本構造は、図6(a)に示すように、いずれも複数の正方形パターンである、一对の露光マーク43と切り抜き露光マーク44からなる。露光マーク43は、一様な周期の微細なL/SパターンのL/S内枠パターン41と、L/S内枠パターン41を囲むようにして、フォトマスク上で幅が2 $\mu$ mのラインの外枠パターン42を有している。L/S内枠パターン41の微細なL/Sパターンは、周期Pが(1)式の条件を満たしている。切り抜き露光マーク44は、内枠切り抜きパターン46と外枠切り抜きパターン45を有している。露光マーク43と切り抜き露光マーク44の中心間の距離は50 $\mu$ mで、互いに重なり合うことなく配置されている。露光マーク43と切り抜き露光マーク44は、例えば、図6(a)の左右方向にフォトマスク上で50 $\mu$ mずらして、それぞれの正方形の中心を合わせた場合、内枠切り抜きパターン46がL/S内枠パターン41の一部に重なり、また、外枠切り抜きパターン45が外枠パターン42を全部覆うように設計されている。

#### 【0026】

奇関数収差の計測には、図7に示すように、図6(a)に示した基本構造の露光マーク43と切り抜き露光マーク44と同様に、露光マーク121と切り抜き露光マーク124とが対をなし、時計回り方向に30度回転させた第1の回転露光マーク122と第1の回転切り抜きマーク125とが対をなし、更に時計回り方向に60度回転させた第2の回転露光マーク123と第2の回転切り抜きマーク126とが対をなしている。露光マーク121及び切り抜き露光マーク124には、L/S内枠パターン121aと外枠パターン121b、及び内枠切り抜きパターン124aと外枠切り抜きパターン124bが配置されている。同様に、第1及び第2の回転露光マーク122、123には、L/S内枠パターン122a、123a、及び外枠パターン122b、123bが配置され、第1及び第2の回転切り抜き露光マーク125、126には、内枠切り抜きパターン125a、126a、及び外枠切り抜きパターン125b、126bが配置されている。また、図8に示すように、第1の露光マーク61と第1の切り抜き露光マーク64、第2の露光マーク62と第2の切り抜き露光マーク65、及び第3の露光マーク63と第3の切り抜き露光マーク66が、それぞれ対で奇関数収差の計測に用いられる。ここで、第1～第3の露光マーク61～63の外枠パターン61b～63bは同一寸法のパターンであり、第1～第3の切

10

20

30

40

50

り抜き露光マーク64～66は同一のパターンである。L/S内枠パターン61a～63aは、(1)式の三光束干渉条件を満たす範囲内で周期Pが異なるL/Sパターンからなる。さらに、図7に示した第1及び第2の回転露光マーク122、123だけでなく、L/Sパターンの周期Pを(1)式の三光束干渉条件を満たす範囲内で変化させたL/S内枠パターンを配置した回転露光マークの対も配置される。

#### 【0027】

球面収差や非点収差等の偶関数収差を計測するための露光マークは、図6(b)に示すように、周期Pが(1)式の三光束干渉条件を満たす微細なL/Sパターンであり、縦L/Sマーク47、横L/Sマーク48、第1の斜めL/Sマーク49、及び第2の斜めL/Sマーク50の四種類がセットとなる。縦L/Sマーク47のL/Sパターンの周期Pの向きを基準とすると、それぞれ横L/Sマーク48が90°、第1の斜めL/Sマーク49が135°、及び第2の斜めL/Sマーク50が45°の向きとなる。また、奇関数収差の場合と同様、(1)式の三光束干渉条件を満たす範囲内で周期Pが異なるL/Sパターンからなる偶関数収差計測用の露光マークが複数配置される。

#### 【0028】

このように、第1及び第2の収差計測ユニット36a～36i及び37a～37iに、それぞれ周期と向きが異なる複数の奇関数、及び偶関数収差計測用の露光マークが互いに近傍に配置される。第1及び第2の収差計測ユニット36a～36i及び37a～37iに配置される各露光マークの配列は、同一とされている。

#### 【0029】

次に、本発明の実施の形態に係る収差計測について説明する。露光装置1による静止露光の領域は、図3(b)に示した第1又は第2の収差計測ユニット領域34、35である。したがって、例えば、まずフォトマスク33上の第1の収差計測ユニット領域34を第1の偏光子31で直線偏光された露光光により収差計測ユニット36a～36iの露光マークのパターンをウェーハ10上に転写する。その後、フォトマスク33上の第2の収差計測ユニット領域35を第2の偏光子32で直線偏光された露光光により収差計測ユニット37a～37iの露光マークのパターンをウェーハ10上に転写する。このとき、投影レンズ5に対する第1の収差計測ユニット領域34中の各露光マークの相対位置と、投影レンズ5に対する第2の収差計測ユニット領域35中の各露光マークの相対位置とがほぼ一致するようにする。即ち、2回の収差計測は、ほぼ同じ像位置に関して実施される。また、奇関数及び偶関数収差計測の露光方法が相異しているため、それぞれ別々に収差計測される。

#### 【0030】

奇関数収差の計測では、第1及び第2の収差計測ユニット領域34、35それぞれに対して二重露光が行われる。図8の露光マーク61～66を用いて奇関数収差計測を行う場合、例えば、まず1回目の露光を行い、次に、ウェーハステージ7を第1～第3の露光マーク61～63と第1～第3の切り抜き露光マーク64～66が重なる方向に12.5μm(フォトマスク33上で50μm)移動して2回目の露光を行う。この二重露光により、第1～第3の露光マーク61～63のL/S内枠パターン61a～63a、及び外枠パターン61b～63bは、第1～第3の切り抜き露光マーク64～66が重なる部分が切り取られるようなパターンでウェーハ10上に転写され、図9に示すように、第1～第3のレジストパターン67～69が、現像工程を経て形成される。第1～第3のレジストパターン67～69のL/S内枠レジストパターン67a～69aは、内枠切り抜きパターン64a～66aの幅のL/Sパターンとなり、外枠レジストパターン67b～69bは、0.5μmの幅のパターンとなる。同様にして、図7に示した露光マーク121、第1及び第2の回転露光マーク122、123が、切り抜き露光マーク124、第1及び第2の回転切り抜き露光マーク125、126で切り取られて、図10に示すように、L/S内枠レジストパターン131a～133a、及び外枠レジストパターン131b～133bからなるレジストパターン131、第1及び第2の回転レジストパターン132、133が形成される。図9及び図10に示したようなL/S内枠レジストパターン67a～69

a、131a～133aと外枠レジストパターン67b～69b、131b～133bの相対的な転写位置ずれ量が、合わせずれ検査装置を用いて測定される。

【0031】

次に、奇関数収差計測で得られた相対的な転写位置ずれ量と奇関数収差量の関係について説明する。x方向に周期Pの周期性を持ち、(1)式の三光束干渉条件を満たすL/Sパターンを $\sigma = 0$ に近いコヒーレント照明で結像させる状態を考える。図11(a)に示すように、光源2からの露光光がマスクパターン21に入射して回折される場合、0次回折光は基板面に垂直に入射、±1次回折光が、入射面をx-z平面とし、0次回折光に対し角度 $\theta$ で、0次回折光を挟むように瞳面70に入射し、ウェーハ上でマスクパターン像22が結像される。ここで、座標系の原点を、無収差レンズの場合に干渉波の極大が現れる理想像点とする。また、光の進行方向を正z方向とする各回折光の電気ベクトルを $E_0$ 、 $E_1$ 、 $E_{-1}$ 、露光波長を $\lambda$ 、0次回折光の振幅をA、±1次回折光の振幅をBとする。また0次回折光の位相を基準として、±1次回折光の位相誤差をそれぞれ $\phi_1$ 、 $\phi_{-1}$ とする。一般に、時間依存部分を省いた光の電気ベクトルは、次式で表される。

【0032】

$$E = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot x) \quad (2)$$

ここで、iは虚数単位、kは波数ベクトル、xは位置ベクトルである。したがって、各回折光の電気ベクトルは、次式で表される。

【0033】

【数1】

$$E_0(x, y, z) = A \cdot \exp(i \cdot k \cdot z) \quad (3)$$

$$E_1(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (-k \cdot x \cdot \sin \theta + k \cdot z \cdot \cos \theta + \phi_1)\} \quad (4)$$

$$E_{-1}(x, y, z) = B \cdot \exp\{i \cdot (k \cdot x \cdot \sin \theta + k \cdot z \cdot \cos \theta + \phi_{-1})\} \quad (5)$$

ウェーハ上に形成される干渉波Iは、

$$I = |E_0 + E_1 + E_{-1}|^2 \quad (6)$$

である。(6)式を展開すると、

【数2】

$$I = A^2 + 2 \cdot B^2 + 2 \cdot A \cdot B \cdot \cos(S \cdot k \cdot x - \phi_{odd}) \cdot \cos(C \cdot k \cdot z - \phi_{even}) + 2 \cdot B^2 \cdot \cos\{2 \cdot (S \cdot k \cdot x - \phi_{odd})\} \quad (7)$$

ここで、簡単のため、 $S = \sin \theta$ 、 $C = 1 - \cos \theta$ 、 $\phi_{even} = (\phi_1 + \phi_{-1})/2$ 、 $\phi_{odd} = (\phi_1 - \phi_{-1})/2$ の置き換えを使った。 $\phi_{even}$ は偶関数収差成分、 $\phi_{odd}$ は奇関数収差成分である。zを固定してx-y平面の振る舞いを考えると、原点付近での干渉波の極大位置は、 $S \cdot k \cdot x - \phi_{odd} = 0$  即ち、

$$x = \phi_{odd} / (S \cdot k) \quad (8)$$

に存在することがわかる。

【0034】

±1次回折光の入射角 $\theta$ は、L/Sパターン周期Pと露光波長 $\lambda$ の間に、

$$\sin \theta = \lambda / P \quad (9)$$

という関係があることを考慮すると、L/Sパターンの相対的な転写位置ずれ量 $\delta x$ は、

$$\delta x = P \cdot \phi_{odd} / (2 \cdot \pi) \quad (10)$$

と表される。

【0035】

一方、例えば、図6(a)に示した外枠パターン42は、露光波長 $\lambda$ に対して十分大きなパターン幅であり、投影レンズを通過する露光光は瞳面70の中央を通過する。通常、投影レンズの中央はよく調整されているから、瞳面70の中央では波面収差は0であると考えて良い。従って、外枠パターン42の位置はたいいていの場合変化せず、位置基準マークとすることができる。即ち、奇関数収差 $\phi_{odd}$ は、合わせずれ検査装置を用いて計測さ

10

20

30

40

50

れた相対的な転写位置ずれ量  $\delta x$  から次式で導かれる。

【0036】

$$\phi_{odd} = 2 \cdot \pi \cdot \delta x / P \quad (11)$$

ここで収差は位相の次元で表されている。露光波長  $\lambda$  を単位とする表記では

$$\phi_{odd} = \delta x / P \quad (12)$$

となる。この  $\phi_{odd}(R, \theta)$  は投影光学系 9 の瞳 6 の瞳面 70 内の座標  $(R, \theta)$  における波面収差の奇関数成分を表す。瞳面 70 は半径を 1 とする単位円として規定され、瞳面 70 の動径  $R$  は、 $0 \leq R \leq 1$  である。周期  $P$  の  $L/S$  パターンを露光したとき、0 次回折光は瞳面 70 の中央、 $\pm 1$  次回折光は、瞳面 70 中央から  $\lambda / (P \cdot NA)$  だけ  $L/S$  パターンの周期方向に離れた位置を通過する。回折光通過位置の瞳面 70 中心からの距離は、 $L/S$  パターンの周期  $P$  に反比例し、周期  $P$  が大きい場合は、図 11 (b) に示すように、瞳面 70 a の中心から  $R1$  離れた内側の位置を通り、周期  $P$  が小さい場合は、図 11 (c) に示すように、瞳面 70 b 内の中心から  $R2$  離れた外側の位置を通る。言い換えると、単位円で規定される瞳面 70 上の、 $(R, \theta)$  における奇関数収差成分が  $\phi_{odd}$  で、 $(R, \theta + 180^\circ)$  における奇関数収差成分が  $-\phi_{odd}$  である。即ち、

$$\phi_{odd}(R, \theta) = \delta x / P \quad (13)$$

$$\phi_{odd}(R, \theta + 180^\circ) = -\delta x / P \quad (14)$$

となる。なお、動径  $R$  は  $\lambda$ 、 $P$ 、 $NA$  との間に次の関係がある。

【0037】

$$R = \lambda / (P \cdot NA) \quad (15)$$

以上を考慮すれば、周期  $P$  及び回転角度が異なる露光マークから形成された収差計測用パターンの計測により、瞳面 70 上の異なる位置における奇関数収差成分  $\phi_{odd}(R, \theta)$  が求められる。例えば、周期が  $P_0$  で  $30^\circ$  回転した露光マークから形成された収差計測用パターンの計測から、 $\phi_{odd}(\lambda / (P_0 \cdot NA), 30^\circ)$  と、 $\phi_{odd}(\lambda / (P_0 \cdot NA), -150^\circ) = -\phi_{odd}(\lambda / (P_0 \cdot NA), 30^\circ)$  が求められる。

【0038】

次に、求めた  $\phi_{odd}$  から奇関数収差のゼルニケ収差係数を算出する。オプティカル・レビュー (OPTICAL REVIEW)、第 7 巻、(2000 年)、525 頁～534 頁に記載されている次の行列計算によって奇関数収差を  $1\theta$  成分、 $3\theta$  成分、 $5\theta$  成分に分ける。

【0039】

【数 3】

$$\begin{pmatrix} \phi_{\cos\theta}(R) \\ \phi_{\sin\theta}(R) \\ \phi_{\cos3\theta}(R) \\ \phi_{\sin3\theta}(R) \\ \phi_{\cos5\theta}(R) \\ \phi_{\sin5\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{3} \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & \sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -\sqrt{3}/2 & 1/2 & 0 & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 0 & 1/2 & -\sqrt{3}/2 & 1 & \sqrt{3}/2 & 1/2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{odd}(R, 0^\circ) \\ \phi_{odd}(R, 30^\circ) \\ \phi_{odd}(R, 60^\circ) \\ \phi_{odd}(R, 90^\circ) \\ \phi_{odd}(R, 120^\circ) \\ \phi_{odd}(R, 150^\circ) \end{pmatrix} \quad (16)$$

次に、奇関数収差の  $1\theta$  成分、 $3\theta$  成分を動径関数にフィットして、係数を求める。

【0040】

【数 4】

$$\phi_{\cos\theta}(R) = a_2 \cdot Z_2(R) + a_7 \cdot Z_7(R) + a_{14} \cdot Z_{14}(R) + \dots \quad (17)$$

$$\phi_{\sin\theta}(R) = a_3 \cdot Z_3(R) + a_8 \cdot Z_8(R) + a_{15} \cdot Z_{15}(R) + \dots \quad (18)$$

$$\phi_{\cos3\theta}(R) = a_{10} \cdot Z_{10}(R) + a_{19} \cdot Z_{19}(R) + \dots \quad (19)$$

10

20

30

40

50

$$\phi_{s i n 3 \theta}(R) = a_{11} \cdot Z_{11}(R) + a_{20} \cdot Z_{20}(R) + \cdots \quad (20)$$

ここで  $a_n$  ( $n$  は整数) は第  $n$  項のゼルニケ収差係数で、 $Z_n(R)$  は、第  $n$  項のゼルニケ多項式の動径  $R$  依存部分である。このようにして、コマ収差  $a_7$ 、 $a_8$ 、 $3\theta$  収差  $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、及びそれらの高次成分  $a_{14}$ 、 $a_{15}$ 、 $a_{19}$ 、 $a_{20}$  が求められる。

【0041】

次に、偶関数収差の測定について説明する。図6(b)に示した4種のL/Sマーク47～50を、露光量を固定したまま徐々にフォーカス位置と転写位置を変えながらレジストを塗布したウェーハ10上に露光する。このようにフォーカス状態を変化させて転写したL/Sレジストパターンを、走査型電子顕微鏡(SEM)等を用いて測定する。各L/Sレジストパターンのライン幅は、フォーカス状態の変化に従い極大値を持つ。ライン幅が極大値となるフォーカス状態は3光束干渉に形成する干渉波のコントラストが極大となる状態であり、即ちベストフォーカスである。周期或いは向きの異なる各パターンごとに、ベストフォーカスを決定する。具体的には、フォーカス位置、即ち、露光装置で設定された各デフォーカス距離毎に、L/Sレジストパターンのライン幅寸法の極大値もしくはスペース幅の極小値を取る位置がベストフォーカスの位置となる。例えば、図12に示すように、縦L/Sレジストパターン111a～111gは、デフォーカス距離が-0.2～0.4  $\mu\text{m}$ の範囲でパターンが転写され、ベストフォーカスは、0.1  $\mu\text{m}$ の位置である。同様に、横L/Sレジストパターン112a～112g、第1の斜めL/Sレジストパターン113a～113g及び第2の斜めL/Sレジストパターン114a～114g、それぞれのベストフォーカスは、0、-0.1、及び0のデフォーカス距離の位置にある。上記例ではライン幅寸法の極大値もしくはスペース幅の極小値を取る位置をベストフォーカスとしたが、露光量が小さい場合は、ライン幅寸法の極小値もしくはスペース幅の極大値を取る位置をベストフォーカスとしてもよい。なお、デフォーカス距離が0の位置としては、例えば、図6(a)に示した露光マーク43の外枠パターン42により、異なるパターン間の平均的なベストフォーカス位置を予め求め、その位置をデフォーカスの基準位置に設定してある。したがって、図12のデフォーカス距離が0.0の状態は、使用する露光装置1におけるデフォーカスの基準位置を表わし、必ずしも無収差の場合のフォーカス位置を表わすわけではない。

【0042】

次に、ベストフォーカスのずれと偶関数収差量の関係について説明する。3光束干渉によりウェーハ上に形成される干渉波の式(7)において、ウェーハ10が光の進行方向( $z$ 方向)にずれた場合を考える。コントラストを決める(7)式の右辺第2項が $z$ 依存性を持つことから、ベストフォーカスとなる条件は、次の式で表される。

【0043】

$$C \cdot k \cdot Z - \phi_{e v e n} = 0 \quad (21)$$

すなわち、ベストフォーカスの無収差の場合からのずれ量 $\delta z$ は、偶関数収差成分 $\phi_{e n}$ に比例する。具体的には、 $\pm 1$ 次回折光の入射角 $\theta$ が、L/S周期 $P$ と露光波長 $\lambda$ との間に(9)式の関係があることを考慮して、次のように表現できる。

【0044】

$$\phi_{e v e n} = C \cdot k \cdot \delta z = 2 \cdot \pi \cdot \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (22)$$

ここで、 $\kappa(\lambda, P) = 1 - (1 - \lambda^2 / P^2)^{1/2}$  である。(22)式では収差が位相の次元で表されている。波長を単位とする表記では

$$\phi_{e v e n} = \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (23)$$

となる。

【0045】

$\phi_{e v e n}(R, \theta)$  は投影レンズ5の瞳面内座標( $R, \theta$ )における波面収差の偶関数成分を表す。言い換えると、単位円で規定される瞳面70上、( $R, \theta$ )及び( $R, \theta + 180^\circ$ )における偶関数収差成分が $\phi_{e v e n}$ である。即ち、

【数5】

10

20

30

40

50

$$\phi_{\text{even}}(R, \theta) = \phi_{\text{even}}(R, \theta + 180^\circ) = \kappa(\lambda, P) \cdot \delta z / \lambda \quad (24)$$

以上を考慮すれば、周期P及び角度が異なる露光マークから形成されたL/Sレジストパターンの計測により、瞳面70上の異なる位置における偶関数収差成分 $\phi_{\text{even}}(R, \theta)$ が求められる。例えば、周期が $P_0$ で $45^\circ$ 回転したマークから形成されたL/Sレジストパターンの計測から、

【数6】

$$\phi_{\text{even}}(\lambda / (P_0 \cdot \text{NA}), 45^\circ) = \phi_{\text{even}}(\lambda / (P_0 \cdot \text{NA}), -135^\circ) \quad (25)$$

が求められる。

10

【0046】

次に、ベストフォーカスのずれ量 $\delta z$ から偶関数収差のゼルニケ収差係数を算出する。上述のオプティカル・レビューに記載されている次の行列計算によって偶関数収差を $0\theta$ 成分 $\phi_{\text{sym}}(R)$ 、 $2\theta$ 成分 $\phi_{\text{cos}2\theta}(R)$ 、 $\phi_{\text{sin}2\theta}(R)$ 等に分ける。

【0047】

【数7】

$$\begin{pmatrix} \phi_{\text{sym}}(R) \\ \phi_{\text{cos}2\theta}(R) \\ \phi_{\text{sin}2\theta}(R) \\ \phi_{\text{cos}4\theta}(R) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \phi_{\text{even}}(R, 0^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 45^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 90^\circ) \\ \phi_{\text{even}}(R, 135^\circ) \end{pmatrix} \quad (26)$$

20

次に、 $0\theta$ 成分 $\phi_{\text{sym}}(R)$ 、 $2\theta$ 成分 $\phi_{\text{cos}2\theta}(R)$ 、 $\phi_{\text{sin}2\theta}(R)$ を動径関数にフィットして、係数を求める。

【0048】

【数8】

$$\phi_{\text{sym}}(R) = a_4 \cdot Z_4(R) + a_9 \cdot Z_9(R) + a_{16} \cdot Z_{16}(R) + \dots \quad (27)$$

$$\phi_{\text{cos}2\theta}(R) = a_5 \cdot Z_5(R) + a_{12} \cdot Z_{12}(R) + \dots \quad (28)$$

30

$$\phi_{\text{sin}2\theta}(R) = a_6 \cdot Z_6(R) + a_{13} \cdot Z_{13}(R) + \dots \quad (29)$$

このようにして、球面収差 $a_9$ 、非点収差 $a_5$ 、 $a_6$ 、及びそれらの高次成分 $a_{16}$ 、 $a_{12}$ 、 $a_{13}$ が求められる。なお、(21)～(25)式までの議論においては、無収差レンズの場合に対するベストフォーカスのずれ量を $\delta z$ としているが、実際の計測においては無収差のレンズの場合のベストフォーカスが不明である。そこで、図12を例にとって説明したように、適当なデフォーカス位置をデフォーカスの基準位置とし、それに対するベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を $\delta z$ の代わりに使用することになる。ベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を用いて(26)、(27)式の計算を行うと、デフォーカスを表わす係数 $a_4$ が変化するが、偶関数収差を表わす他の係数 $a_5$ 、 $a_6$ 、 $a_9$ 等は変化しない。したがって、ベストフォーカスのずれ量 $\delta z'$ を用いても偶関数収差の計測が可能である。

40

【0049】

本発明の実施の形態に係る投影レンズの性能検査方法を図1にしたがって説明する。

【0050】

(イ) まず、フォトマスク33及び第1のレジストを塗布したウェーハ10が露光装置1のウェーハステージ7上に装着される。ステップS101で、例えば、第1の収差計測ユニット領域34の、図6(a)、図7及び図8で示した奇関数収差計測用の露光マークを用いて二重露光が行われ、第1の偏光子31で直線偏光された露光光で各々のL/Sパタ

50

ーンがウェーハ10上の第1のレジストに転写される。第1のレジストの現像後、図9及び図10に示したようなL/Sレジストパターンから横ずれ量 $\delta x$ が計測される。

【0051】

(ロ) 第2のレジストを塗布したウェーハ10が露光装置に装着される。ステップS102で、第1の収差計測ユニット領域34の、図6(b)に示した偶関数収差計測用の露光マークを用いて露光量を固定したままフォーカス位置と転写位置を変えながら、第1の偏光子31で直線偏光された露光光でおのおののL/Sパターンがウェーハ10上の第2のレジストに転写される。第2のレジストの現像後、図12に示したようなL/Sレジストパターンからベストフォーカスずれ量 $\delta z$ が計測される。

【0052】

(ハ) ステップS103で、第1の偏光子31で直線偏光された露光光による横ずれ量 $\delta x$ 及びベストフォーカスずれ量 $\delta z$ から、第1のゼルニケ収差係数が算出される。例えば、奇関数収差として、コマ収差のゼルニケ係数 $a_7$ 、 $a_8$ 、及び3 $\theta$ 収差のゼルニケ係数 $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、また、偶関数収差として、非点収差のゼルニケ係数 $a_5$ 、 $a_6$ 、及び球面収差のゼルニケ係数 $a_9$ が算出される。

【0053】

(ニ) 次に、ステップS104で、第3のレジストを塗布したウェーハ10が露光装置に装着される。第2の収差計測ユニット領域35の、図6(a)、図7及び図8で示した奇関数収差計測用の露光マークを用いて二重露光が行われ、第2の偏光子32で直線偏光された露光光で各々のL/Sパターンがウェーハ10上の第3のレジストに転写される。第3のレジストの現像後、図9及び図10に示したようなL/Sレジストパターンから横ずれ量 $\delta x$ が計測される。

【0054】

(ホ) 第4のレジストを塗布したウェーハ10が露光装置に装着される。ステップS105で、第4の収差計測ユニット領域35の、図6(b)に示した偶関数収差計測用の露光マークを用いて露光量を固定したままフォーカス位置と転写位置を変えながら、第2の偏光子32で直線偏光された露光光でおのおののL/Sパターンがウェーハ10上の第4のレジストに転写される。第4のレジストの現像後、図12に示したようなL/Sレジストパターンからベストフォーカスずれ量 $\delta z$ が計測される。

【0055】

(ヘ) ステップS106で、第2の偏光子32で直線偏光された露光光による横ずれ量 $\delta x$ 及びベストフォーカスずれ量 $\delta z$ から、第2のゼルニケ収差係数が算出される。ステップ103と同様に、奇関数収差として、コマ収差のゼルニケ係数 $a_7$ 、 $a_8$ 、及び3 $\theta$ 収差のゼルニケ係数 $a_{10}$ 、 $a_{11}$ 、また、偶関数収差として、非点収差のゼルニケ係数 $a_5$ 、 $a_6$ 、及び球面収差のゼルニケ係数 $a_9$ が算出される。

【0056】

(ト) ステップS107で、算出された第1及び第2のゼルニケ収差係数の差が求められる。求められたゼルニケ収差係数差より、ステップS108で、投影レンズ5の性能が判定され、投影レンズ5の選別が行われる。

【0057】

図13には、検査1および2として算出された第1及び第2のゼルニケ収差係数と、ゼルニケ収差係数差を示してある。投影レンズ5の複屈折が十分に抑制されているならば、検査1の結果と検査2の結果との間に差はない。一方、投影レンズ5の複屈折が大きい場合、光の偏光状態によって投影レンズ5の実効的な収差が変わるから、露光光の偏光状態を変えて露光した2回の露光の計測結果は異なる。図13においては、二つの検査で求めたゼルニケ収差係数差が検査1で計測されたゼルニケ収差係数の10%以上あり、投影レンズ5が大きな複屈折を示しているといえる。

【0058】

投影レンズが複屈折を示さないならば、入射光の偏光状態と射出光の偏光状態は同じである。一方、複屈折を示す材質が使われている場合は、入射光と射出光の偏光状態が変わる

10

20

30

40

50

。複屈折を示す光透過性材料に偏光光を入射した場合、射出光の偏光状態は次式で表される。

【0059】

【数9】

$$\begin{pmatrix} E'_p \\ E'_s \end{pmatrix} = M \begin{pmatrix} E_p \\ E_s \end{pmatrix} \quad (30)$$

ここで、 $(E_p, E_s)$  は、入射光の電場ベクトルの p 偏光成分及び s 偏光成分、 $(E'_p, E'_s)$  は、射出光の電場ベクトルの p 偏光成分及び s 偏光成分、M は、光透過性材料内の光路に関するジョーンズ (Jones) 行列である。

10

【0060】

露光装置 1 のレンズの材料として使用される蛍石は、結晶方向によって複屈折の大きさが異なる。従って、露光光が通る経路によって異なる偏光状態の変化を受けることになる。この状態は、瞳 6 上の任意の点において定義される  $2 \times 2$  の行列 M により表現できる。行列 M は瞳座標及び像面座標の関数となる。また、ある一つの像点における結像を考えると、行列 M は瞳座標の関数となる。

【0061】

露光装置 1 においては、フォトマスク 33 から出射した回折光が投影レンズ 5 に入射し、投影レンズ 5 を通過した光がウェーハ 10 に到達する。ウェーハ 10 表面では、2 本以上の光束の干渉により、像が形成される。光束の干渉においては、互いに直交する偏光光同士は干渉せず、像のコントラストを生じない。従って、干渉する光が互いに異なる偏光状態にある場合、像のコントラストが低下し、正常なパターン形成が困難となる。

20

【0062】

ここで、2 光束干渉による結像を例に取り、複屈折の影響を説明する。図 14 に示すように、露光光 B がフォトマスク 33 の偏光子及び L/S 露光マークにより偏光、回折されて第 1 及び第 2 の偏光光線 B1、B2 となる。投影レンズに入射する前は同一の強度及び偏光状態であった第 1 及び第 2 の偏光光線 B1、B2 の 2 つの光束が、投影レンズ 5 内の別の経路を通過し、同一入射面 (図 14 の x-z 平面) 上で、かつウェーハ 10 の法線に対し角度  $\theta$  だけ傾いた角度からウェーハ 10 表面に入射する状態を表している。ここではウェーハ 10 表面に入射する第 1 及び第 2 の偏光光線 B1、B2 の偏光状態を、入射面に平行な成分 (p 偏光成分) と入射面に垂直な成分 (s 偏光成分) とを用いて表記する。第 1 の偏光光線 B1 の偏光状態と第 2 の偏光光線 B2 の偏光状態がそれぞれ  $(E_{1p}, E_{1s})$ 、 $(E_{2p}, E_{2s})$  のように表されているとする。p 偏光と s 偏光の位相差を  $\phi_y$  ( $y$  は 1 または 2) とすると、光の電場ベクトルの p 偏光成分、s 偏光成分は次のように表される。ただし、時間依存の項を省略した。

30

【0063】

$$E_{yp} = A_{yp} \cdot \exp \{ i \cdot (k_y \cdot x + \phi_y + \phi_{yb} / 2) \} \quad (31)$$

$$E_{ys} = A_{ys} \cdot \exp \{ i \cdot (k_y \cdot x + \phi_y - \phi_{yb} / 2) \} \quad (32)$$

$\phi_y$  は、s 偏光、p 偏光状態の平均的な位相を表し、 $i$  は虚数単位、 $x$  は位置ベクトルである。 $A_{yp}$ 、 $A_{ys}$  は、それぞれ電場の p 偏光成分、s 偏光成分の振幅を表す。 $k_y$  は、波数ベクトルを表し、具体的には次式で表される。

40

【0064】

$$k_1 = 2 \cdot \pi / \lambda (\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (33)$$

$$k_2 = 2 \cdot \pi / \lambda (-\sin \theta, 0, \cos \theta) \quad (34)$$

このような条件の下、ウェーハ表面における干渉波 I は、電場の振動面が互いに直交する p 偏光光及び s 偏光光同士が干渉しないことを考慮すると、p 偏光の干渉波  $I_p$ 、s 偏光の干渉波  $I_s$  の和で表わされる。即ち、

【数10】

$$I_p = |E_{1p} + E_{2p}|^2 = |A_{1p}|^2 + |A_{2p}|^2 + 2 \cdot A_{1p} \cdot A_{2p} \quad 50$$



$$p \cdot (2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_b) \quad (35)$$

$$I_s = |E_{1s} + E_{2s}|^2 = |A_{1s}|^2 + |A_{2s}|^2 + 2 \cdot A_{1s} \cdot A_{2s} \cdot (2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_b) \quad (36)$$

$$I = I_p + I_s = I_1 + I_2 + A_p \cdot \cos(2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi + \Delta \phi_b) + A_s \cdot \cos(2 \cdot k \cdot x \cdot \sin \theta + \Delta \phi - \Delta \phi_b) \quad (37)$$

ただし、 $I_1$ 、 $I_2$ は、それぞれ光線1及び光線2の強度、 $A_p = 2 \cdot A_{1p} \cdot A_{2p} \cdot \cos(2 \cdot \theta)$ は、p偏光光同士の干渉波の振幅、 $A_s = 2 \cdot A_{1s} \cdot A_{2s}$ は、s偏光光同士の干渉波の振幅である。kは波数ベクトルの大きさ、 $\Delta \phi = \phi_1 - \phi_2$ は偏光に無関係な二つの光束の位相差、 $\Delta \phi_b = \phi_{1b} - \phi_{2b}$ は偏光の大きさに依存した二つの光束の位相差である。また、各干渉波ごとに収差が異なり、p偏光成分の収差及びs偏光成分の収差は、

$$\Phi_p = \Delta \phi + \Delta \phi_b \quad (38)$$

$$\Phi_s = \Delta \phi - \Delta \phi_b \quad (39)$$

となる。

【0065】

像全体としての収差 $\Phi$ は、p偏光の干渉波の振動成分 $A_p$ 、p偏光の収差 $\Phi_p$ 、及びs偏光の干渉波の振動成分 $A_s$ 、s偏光の収差 $\Phi_s$ を用いて、次式で近似できる。

【0066】

【数11】

$$\Phi = (A_p \cdot \Phi_p + A_s \cdot \Phi_s) / (A_p + A_s) = \Delta \phi + \Delta \phi_b \cdot (A_p - A_s) / (A_p + A_s) \quad (40)$$

$A_p$ 、 $A_s$ は、二つの光束の偏光状態により決まる値であり、(30)式に示されているように、入射光の偏光状態を表すベクトルに瞳座標に依存する行列Mを掛けて得られるベクトルの各成分の大きさである。即ち、二つの光束の偏光状態は、投影レンズ5に入射する光の偏光状態によって変化する。従って、投影レンズ5に入射する前に光の偏光状態を変えることによって、ウェーハ10面の像に対する収差の影響が異なる。即ち、ウェーハ10面に形成される収差計測用レジストパターンを計測して求めた収差の値が、入射側の光の偏光状態によって変わる。投影レンズ5の複屈折が十分小さい場合は、投影レンズ5を通過する光の偏光状態が変化しない。このとき行列Mは瞳座標によらない単位行列となる。従って、 $\phi_{1b} = \phi_{2b}$ 、 $\Delta \phi_b = 0$ であるから、入射側の偏光状態によらず(40)式の $\Phi$ が一定となる。即ち、ウェーハ10面に形成される収差計測用レジストパターンを計測して求めた収差の値が、入射側の光の偏光状態によって変化しなければ、投影レンズ5の複屈折が十分小さいと判定できる。

【0067】

ここでは、2光束干渉を例に取り説明したが、3光束干渉の場合も同様の議論が成り立つ。即ち、入射光の偏光状態を変えて露光を行って収差計測することにより、投影レンズ5の複屈折の大小を調査することができる。

【0068】

(その他の実施の形態)

上記のように、本発明の実施の形態を記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者にはさまざまな代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0069】

本発明の実施の形態に係るフォトマスク33は、ワイヤグリッド型の第1及び第2の偏光子31、32はフォトマスク33の端面に平行に配列されていたが、図15に示すように、フォトマスク33aの第1の表面15aに配置される第1及び第2の収差計測ユニット領域34a、35aに対向するように第2の表面16aに配置される第1及び第2の偏光

10

20

30

40

50

子161、162のワイヤグリッド型のパターンの方角は、フォトマスク33a端面に対して斜めの異なる向きに互いに直交するように配列されていてもよい。このような場合でも、第1及び第2の偏光子161、162により互いに直交する直線偏光が得られるため、本発明の実施の形態と同様の効果が得られることはいうまでもない。

【0070】

また、図16に示すように、フォトマスク33bの第1の表面15bの第1の収差計測ユニット領域34bに対向して第2の表面16bに偏光子172を配置し、第2の収差計測ユニット領域35bに対向する第2の表面16bの領域にはグリッド型偏光子を配置しない構造であってもよい。この場合は、偏光光と無偏光光の状態により、投影レンズ5の収差の差より検査が行われる。

【0071】

また、本発明の実施の形態においては、ワイヤグリッド型偏光子をフォトマスク33の第2の表面16に配置しているが、ワイヤグリッド型偏光子をフォトマスク33ではなくペリクル8上に配置しても良い。図17(a)に示すように、ペリクル8aが、フォトマスク33cに対するゴミ付着防止のために設置されている。フォトマスク33cは、図17(b)に示すように、第1の表面15cに第1及び第2の収差計測ユニット領域34c、35cが配置されている。第1及び第2の偏光子31a、32aは、図17(c)に示すように、ペリクル8a上の、第1の表面15cの第1及び第2の収差計測ユニット領域34c、35cに対向する位置に配置されている。ペリクル8aは、図18に示すように、フォトマスク33cと同様の透明基板18上に、L/Sパターンの周期Pで遮光部幅wの遮光部19a~19cが配置された構造である。フォトマスク33cを透過してくる露光光の偏光状態は変化しないため、ワイヤグリッド型偏光子がペリクル8上にあっても、本発明の実施の形態と同様の効果が得られることは、いうまでもない。なお、第1及び第2の偏光子31a、32aは、ペリクル8aの、フォトマスク33Cに対向する面でも、その反対の面であっても同様の効果が得られることは、勿論である。

【0072】

さらに、本発明の実施の形態においては、投影レンズ5の収差としてコマ収差と3θ収差の奇関数収差及び球面収差と非点収差の偶関数収差を用いているが、4種の収差のうち少なくともいずれか一つあれば投影レンズの正の検査は可能である。あるいは、奇関数収差、偶関数収差のうち一方を用いてもよいことは、勿論である。また、投影レンズ5の収差計測方法は説明に用いられている方法に限らず、別の方法が適用できることは、勿論である。

【0073】

このように、本発明はここでは記載していないさまざまな実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【0074】

【発明の効果】

本発明によれば、複屈折の影響を他の像劣化要因と切り分けて検査する投影光学系の検査方法を提供することができる。

【0075】

また、本発明によれば、投影光学系の検査方法に用いるフォトマスクを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る投影光学系の検査方法の説明に用いるフローチャートである。

【図2】本発明の実施の形態に係る露光装置の概略構成図である。

【図3】本発明の実施の形態に係るフォトマスクの構成の一例を説明する図である。

【図4】本発明の実施の形態に係るワイヤグリッド偏光子の構造の一例を説明する図である。

10

20

30

40

50

【図 5】本発明の実施の形態に係るワイヤグリッド偏光子の製造工程図である。

【図 6】本発明の実施の形態に係る収差計測露光マークのパターンを示す図である。

【図 7】本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測露光マークのパターンを示す図である。

【図 8】本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測露光マークの他のパターンを示す図である。

【図 9】本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測のためのレジストパターンを説明する図である。

【図 10】本発明の実施の形態に係る奇関数収差計測のための他のレジストパターンを説明する図である。

10

【図 11】本発明の実施の形態に係る瞳面を通過する回折光を説明する図である。

【図 12】本発明の実施の形態に係る偶関数収差計測のためのレジストパターンを説明する図である。

【図 13】本発明の実施の形態に係るゼルニケ収差係数の計測結果を示す図である。

【図 14】本発明の実施の形態に係る 2 光束干渉を説明する図である。

【図 15】本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスクの構成の一例を説明する図である。

【図 16】本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスクの構成の他の例を説明する図である。

【図 17】本発明のその他の実施の形態に係るフォトマスク及びペリクルの構成の一例を説明する図である。

20

【図 18】本発明のその他の実施の形態に係るペリクルの断面構造図である。

【符号の説明】

- 1 露光装置
- 2 光源
- 3 照明光学系
- 4 マスクステージ
- 5 投影レンズ
- 6 瞳
- 7 ウェーハステージ
- 8、8 a ペリクル
- 9 投影光学系
- 10 ウェハ
- 11 ワイヤグリッド偏光子
- 12、18 透明基板
- 13 a ~ 13 c、19 a ~ 19 c 遮光部
- 15、15 a ~ 15 c 第 1 の表面
- 16、16 a ~ 16 c 第 2 の表面
- 21 マスクパターン
- 22 マスクパターン像
- 31、31 a、161 第 1 の偏光子
- 32、32 a、162 第 2 の偏光子
- 33、33 a ~ 33 c フォトマスク
- 34、34 a ~ 34 c 第 1 の収差計測ユニット領域
- 35、35 a ~ 35 c 第 2 の収差計測ユニット領域
- 36 a ~ 36 i、37 a ~ 37 i 収差計測ユニット
- 41、61 a ~ 63 a、121 a ~ 123 a L/S 内枠パターン
- 42、61 b ~ 63 b、121 b ~ 123 b 外枠パターン
- 43 露光マーク
- 44 切り抜き露光マーク

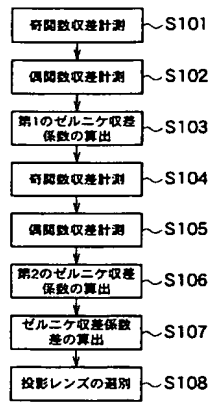
30

40

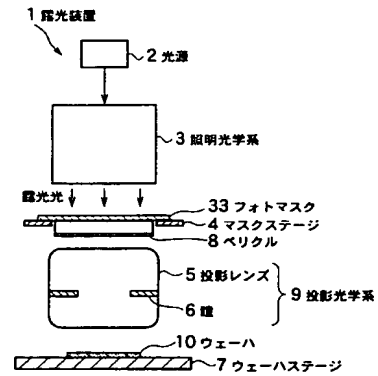
50

4 5、6 4 b ~ 6 6 b	外枠切り抜きパターン	
4 6、6 4 a ~ 6 6 a	内枠切り抜きパターン	
4 7	縦 L / S パターン	
4 8	横 L / S パターン	
4 9	第 1 の斜め L / S パターン	
5 0	第 2 の斜め L / S パターン	
5 1、6 7 b ~ 6 9 b、1 3 1 b ~ 1 3 3 b	外枠レジストパターン	
5 2、6 7 a ~ 6 9 a、1 3 1 a ~ 1 3 3 a	L / S 内枠レジストパターン	
5 3	レジストパターン	
6 1、1 2 1	第 1 の露光マーク	10
6 2	第 2 の露光マーク	
6 3	第 3 の露光マーク	
6 4、1 2 4	第 1 の切り抜き露光マーク	
6 5	第 2 の切り抜き露光マーク	
6 6	第 3 の切り抜き露光マーク	
6 7、1 3 1	第 1 のレジストパターン	
6 8	第 2 のレジストパターン	
6 9	第 3 のレジストパターン	
7 0、7 0 a、7 0 b	瞳面	
8 1	第 1 の縦 L / S マーク	20
8 2	第 1 の横 L / S マーク	
8 3	第 2 の縦 L / S マーク	
8 4	第 2 の横 L / S マーク	
9 1 a ~ 9 1 e	第 1 の縦 L / S レジストパターン	
9 2 a ~ 9 2 e	第 1 の横 L / S レジストパターン	
9 3 a ~ 9 3 e	第 2 の縦 L / S レジストパターン	
9 4 a ~ 9 4 e	第 2 の横 L / S レジストパターン	
1 1 1 a ~ 1 1 1 g	縦 L / S レジストパターン	
1 1 2 a ~ 1 1 2 g	横 L / S レジストパターン	
1 1 3 a ~ 1 1 3 g	第 1 の斜め L / S レジストパターン	30
1 1 4 a ~ 1 1 4 g	第 2 の斜め L / S レジストパターン	
1 2 2	第 1 の回転露光マーク	
1 2 3	第 2 の回転露光マーク	
1 2 5	第 1 の回転切り抜き露光マーク	
1 2 6	第 2 の回転切り抜き露光マーク	
1 3 2	第 1 の回転レジストパターン	
1 3 3	第 2 の回転レジストパターン	
1 7 2	偏光子	

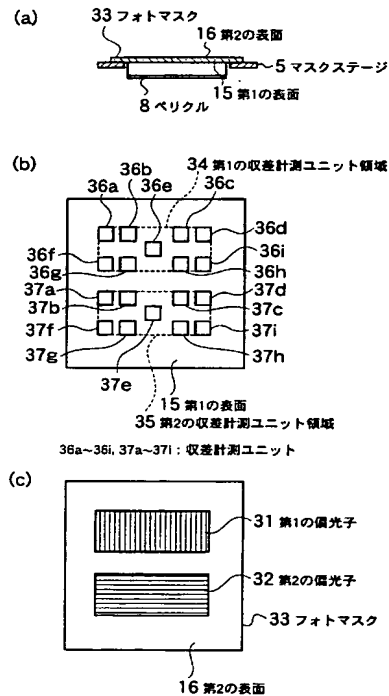
【図1】



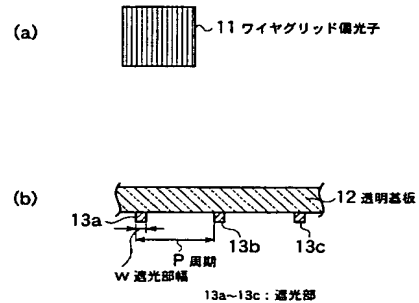
【図2】



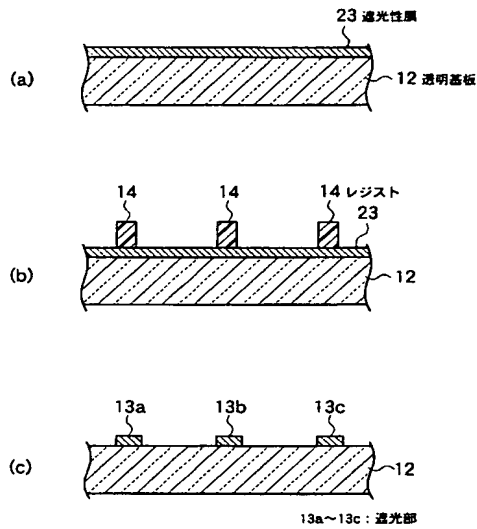
【図3】



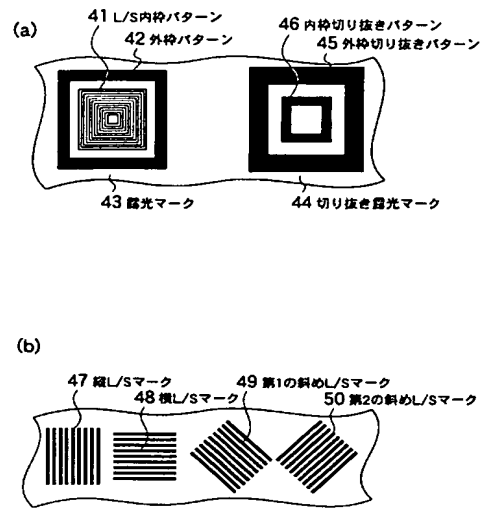
【図4】



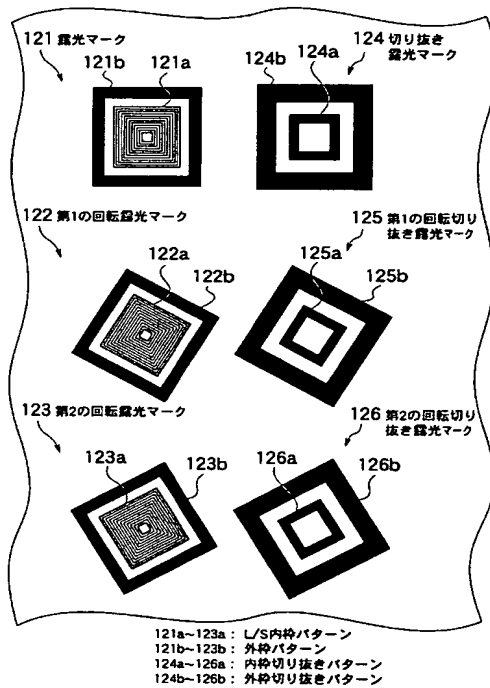
【図 5】



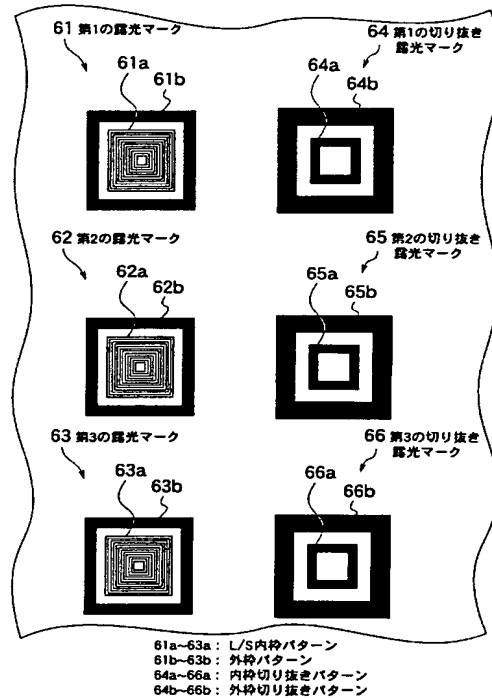
【図 6】



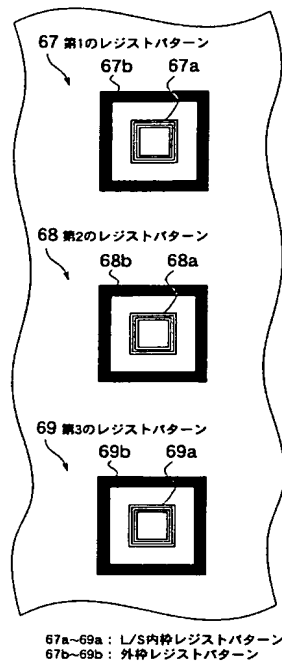
【図 7】



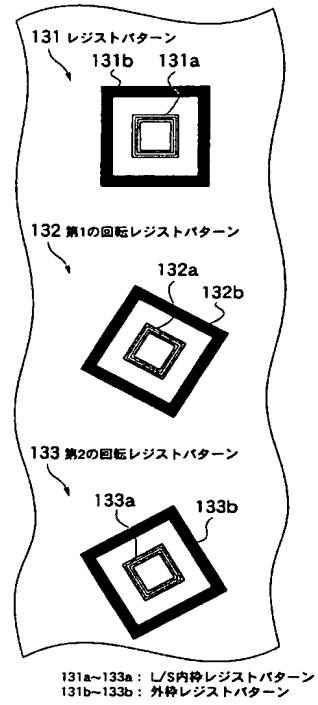
【図 8】



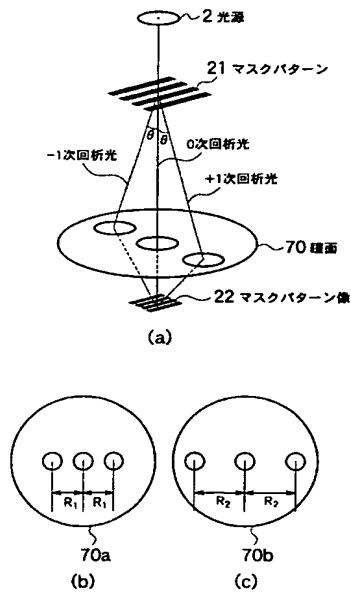
【図 9】



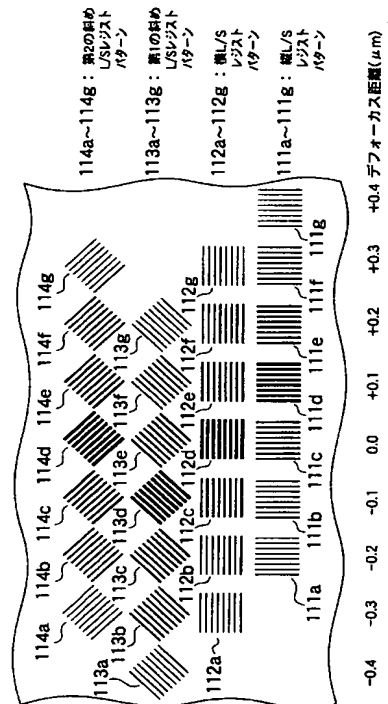
【図 10】



【図 11】



【図 12】

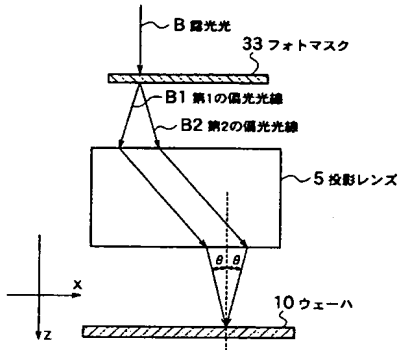


【図 13】

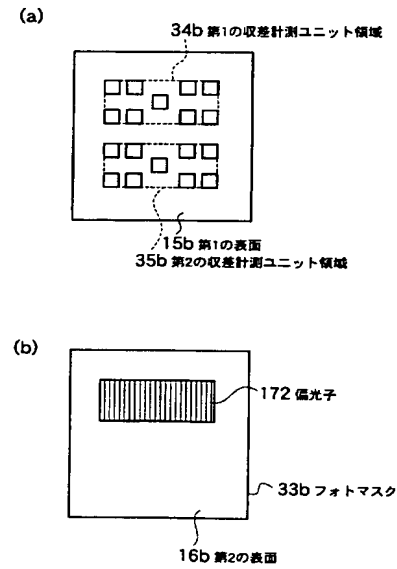
	検査 1	検査 2	差(検査1-検査2)
非点収差 a5	10.9	6.0	4.8
非点収差 a6	6.7	15.8	-9.1
コマ収差 a7	4.2	-2.2	6.4
コマ収差 a8	0.5	-7.3	7.8
球面収差 a9	8.5	-2.4	10.9
3θ 収差 a10	0.0	12.0	-12.0
3θ 収差 a11	6.5	0.1	6.4

単位nm

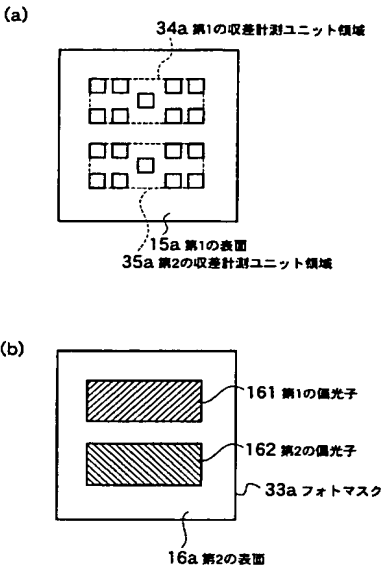
【図 14】



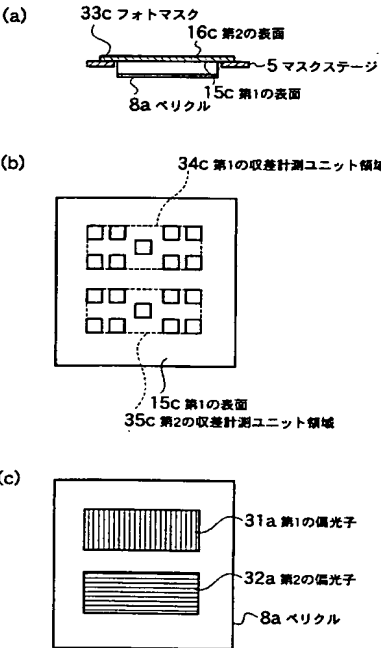
【図 16】



【図 15】

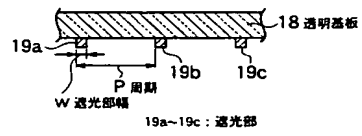


【図 17】





【図 18】



---

フロントページの続き

(74)代理人 100101247

弁理士 高橋 俊一

(74)代理人 100098327

弁理士 高松 俊雄

(72)発明者 福原 和也

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 田中 聡

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

(72)発明者 井上 壮一

神奈川県横浜市磯子区新杉田町 8 番地 株式会社東芝横浜事業所内

F ターム(参考) 2G086 HH06

2H049 BA02 BA45 BC23

2H095 BC24 BD09 BE05 BE06

5F046 AA25 BA03 CA08 CB12 CB15 CB17 DA13